EMIL CEBUC

VASILE TEODOR DĂDÂRLAT

REȚELE LOCALE DE CALCULATOARE

de la cablare la interconectare

94 SERIA PC

editura Albastră

Recenzent ştiinţific: prof. dr. Florian Mircea Boian



Editura Albastră

Director editură
Smaranda Derveşteanu

Tehnoredactare computerizată
SD Special Design

Coperta
SD Special Design

Tipărit
EDITURA ALBASTRĂ

Editura este acreditată de CNCSIS (Consiliul Naţional al Cercetării Ştinţifice din Învăţământul Superior) cu numărul 1142 din 30 iunie 2003 şi este recomandată Consiliului Naţional de Atestare a Titlurilor şi Diplomelor Universitare.

CUPRINS

Dedicăm această carte memoriei celui care a fost Profesor Pusztai Kálmán, întemeietorul şcolii clujene de reţele de calculatoare.

Autorii

1. INTRODUCERE

1.1. Obiective şi conţinut

Această carte este rezultatul experienţei de peste cincisprezece ani, acumulată în procesul de proiectare, realizare şi exploatare a reţelelor de calculatoare, în procesul de învăţământ precum şi a celui de cercetare în cadrul a numeroase contracte.

Temele tratate în carte se încadrează conceptual în primele trei nivele arhitecturale ale modelului de referinţă pentru reţelele de calculatoare şi în particular ele se referă la reţelele locale de calculatoare, abordând aspecte legate de toate problemele teoretice şi practice, de la cablarea structurată a reţelelor locale, până la interconectarea lor şi accesul la reţelele publice.

Informaţia expusă în carte are atât un caracter general, de bază, util celor care abordează pentru prima dată domeniul, dar prevede şi detalierile actualizate, bazate pe ultimele versiuni de standarde, necesare celor care lucrează în sectorul instalării şi interconectării reţelelor locale de calculatoare.

Cartea cuprinde nouă capitole, alcătuind o secvenţă logică cu un pronunţat caracter didactic, deosebit de utilă studenţilor sau celor care doresc iniţierea în acest domeniu, dar sunt inserate şi subcapitole cu informaţie practică, utilă inginerilor şi celor ce se ocupă efectiv de problematica reţelelor locale.

Capitolul introductiv prezintă problemele generale legate de reţelele de calculatoare, principalele organizaţii pentru standardizare şi face o enumerare şi o descriere sintetică a conceptelor folosite în domeniul comunicaţiilor de date şi a interconectării calculatoarelor.

Capitolul al doilea, intitulat "**Modele de referinţă**", se ocupă de aspectele conceptuale, abstracte, legate de arhitectura reţelelor de calculatoare. Se face în primul rând prezentarea modelului de referinţă **ISO/OSI** pentru reţelele de calculatoare, insistându-se asupra avantajelor teoretice şi didactice

aduse de respectarea acestei arhitecturi. Urmează prezentarea modelului arhitectural **TCP/IP**, cu ilustrarea impactului ce îl are modelul asupra implementărilor existente. Urmează în mod logic definirea noţiunii de reţea locală de calculatoare şi prezentarea unui model de referinţă pentru aceasta, respectiv modelul dat de standardul **IEEE 802**.

Al treilea capitol are un caracter mai practic, este intitulat "**Medii de transmisie şi cablarea structurată**" şi prezintă caracteristicile fizice ale principalelor medii pentru transmisie utilizate de reţelele locale cu un accent deosebit asupra fibrei optice, iar apoi ilustrează cele mai importante aspecte legate de cablarea structurată, conformă cu normele date de standardele internaţionale.

Capitolul 4, numit "**Reţele locale clasice**", este cel mai cuprinzător şi prezintă standardele şi aspectele practice specifice reţelelor locale de tip **Ethernet, Token Bus, Token Ring**. Aceste reţele, operând la viteze de ordinul mega-biţilor transmişi în unitatea de timp, au devenit 'clasice', dar modelul lor arhitectural are încă o importanţă deosebită. Capitolul nu face numai o prezentare a standardelor **IEEE 802.x** legate strict de metodele de acces la mediu ale acestor tipuri de reţele, ci prezintă şi aspectele practice date de regulile de configurare posibile.

Capitolul 5, intitulat „**Reţele locale de mare viteză, Reţele locale fără fir şi alte standarde IEEE**", face o prezentare sintetică a ultimelor realizări practice şi a celor mai noi specificări de standarde pentru reţelele locale actuale, ce operează la viteze cu un ordin de mărime mai mare decât cele 'clasice'. Sunt prezentate reţelele **FDDI**, cele bazate pe filozofia **Ethernet (FastEthernet, GigabitEthernet şi 10GigabitEthernet),** sau alte relizări precum **Dedicated Token Ring** şi **100BaseVG -Any LAN** şi **Reţele fără fir** (Wireless).

Capitolul 6 „ **Interconectarea Reţelelor Locale şi reţele virtuale**" prezintă funcţiile şi modelul arhitectural al unei punţi, algoritmul Spanning-Tree cu evoluţiile sale şi elemente de bază ale reţelelor virtuale (VLAN).

Capitolul 7 este dedicat accesului la reţelele publice de mare întindere geografică, prezentându-se în ordine logică şi în mod sintetic problemele legate de accesul la nivelul fizic, de nivelul legăturii de date a reţelelor publice şi în final, de problemele legate de dirijarea în meta-reţea.

Principalele şi în acelaşi timp cele mai cunoscute tipuri de reţele (reţele **TCP/IP** inclusiv **IPv6** şi **ISO/OSI**) sunt prezentate în capitolul 8. Se face o descriere a tuturor protocoalelor ce alcătuiesc arhitectura, îndeosebi a celor de la nivelele superioare (protocoalele la nivelele reţea şi transport, precum şi cele mai importante aplicaţii).

Problematica deosebită a reţelelor **ATM** şi a impactului său asupra evoluţiei reţelelor locale de calculatoare este tratată de *capitolul 9*, care prezintă nu numai esenţa tehnologiei, dar şi problemele şi abordările existente în emularea reţelelor locale.

1.2. Aspecte generale legate de reţelele de calculatoare

Noţiunea de **reţea de calculatoare** durează din anii '70, primele realizări referindu-se la conectarea unui număr de echipamente de tip terminal (în general neînzestrate cu putere de calcul), la un calculator performant şi scump, de tip mainframe. Dezvoltarea rapidă a calculatoarelor personale, puternica penetrare a acestora în diferite sectoare, creşterea numărului de utilizatori şi producători de informaţie, dar şi necesitatea de a folosi în comun, utilizând astfel de staţii (având putere de calcul), baze de date puternice, imposibil însă de memorat de către oricare din acestea, a dus la schimbarea structurii reţelei de calculatoare. Ea acum conectează între ele o mulţime de staţii de lucru, dotate cu diferite puteri de calcul şi capacităţi de memorare; acest fenomen de trecere de la un calculator puternic şi o multitudine de terminale 'stupide', către o mulţime de staţii inteligente, ce colaborează între ele, împărţind şi folosind în comun resurse informaţionale şi fizice, este în sine o revoluţie pentru tehnologia informaţiei şi poartă numele de **downsizing**.

De aici se poate deduce că principalele caracteristici ale unei reţele de calculatoare se referă la tipul, localizarea şi accesarea diverselor resurse partajate. După localizarea componentelor unei reţele, avem trei tipuri mari de reţele de calculatoare:

- reţele locale de calculatoare **LAN** (*Local Area Networks*), prevăzând între staţii distanţe de până la ordinul kilometrilor;
- reţele metropolitane **MAN** (*Metropolitan Area Networks),* acoperind o suprafaţă de ordinul a zeci de kilometri;
- reţele de mare întindere geografică **WAN** (*Wide Area Networks*), acoperind suprafeţe echivalente unei ţări sau chiar suprafaţa planetară.

Dintre acestea, reţelele locale fac obiectul cărţii; întinderea geografică restrânsă nu implică automat şi o mai mică complexitate a acestor tipuri de reţele, deoarece ele oferă o viteză şi siguranţă deosebită, care se obţine cu un anumit preţ.

Alte caracteristici, specifice acestui tip de reţele vor fi prezentate pe parcursul cărţii.

1.3. Principalele organizaţii internaţionale pentru standardizare şi specificare în domeniul reţelelor de calculatoare

Situaţia în domeniul standardizării în domeniul reţelelor de calculatoare nu este una foarte clară, în sensul că există încă:

- reţele proprietate a unor firme, care au distribuit produsele la nivel naţional, sau chiar mai mult (reţele **IBM/SNA, Digital/Decnet, Novell/NetWare**);
- standarde 'de facto', având o foarte largă utilizare şi bucurându-se de încrederea producătorilor, dar nefiind recunoscute de organizaţiile de standardizare (reţeaua **Ethernet v.2.0**, sistemul de reţele **TCP/IP**);
- standarde 'de jure', elaborate de organizaţiile de standardizare, dar unele cu mică răspândire;
- realizări tehnologice recente care nu au fost încă standardizate, dar sunt promovate de diverse consorţii şi în paralel se desfăşoară muncă de standardizare (tehnologia **ATM**, de exemplu).

Există la ora actuală două clase de corpuri internaţionale care se ocupă de standardizare şi specificare în domeniul reţelelor de comunicaţii şi a reţelelor de calculatoare: **grupurile** pentru standardizarea formală şi **forumurile** pentru dezvoltarea aplicaţiilor industriale. Cele mai importante organizaţii şi realizările lor majore sunt enumerate în ceea ce urmează.

International Telecommunications Union (ITU)

Prin sectorul de standardizari în telecomunicaţii ITU-T, este cel mai important organism pentru standardizari formale în domeniul reţelelor. Sectorul ITU-T, cunoscut tradiţional şi sub numele **CCITT** (*International Telegraph and Telephone Consultative Comitee*), elaborează în prezent standardizarea pentru serviciile B-ISDN, protocoalele de semnalizare sau definirea funcţiilor legate de ATM.

American National Standards Institute (ANSI)

Este o organizatie regională care defineşte standarde naţionale şi internaţionale, fiind deseori interfaţa între grupuri naţionale (îndeosebi din America de Nord) şi organismele de standardizare internaţionale. Comitetul ANSI T1 se ocupă de telecomunicaţii, prin subcomitetele sale supervizând dezvoltările regionale în domeniul reţelelor (procesarea semnalelor, interconectarea şi administrarea reţelelor, ierarhii digitale).

Institute for Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Este cea mai cuprinzătoare organizaţie profesională în domeniu, munca de dezvoltare şi raspândire a standardelor fiind o activitate de bază. Ea se desfăşoară şi prin numeroasele periodice, publicaţii şi conferinţe ce există sub sigla IEEE. Cea mai importantă contribuţie în domeniul reţelelor locale o constituie binecunoscutul set de standarde IEEE 802.x.

European Telecommunications Standards Institute (ETSI)

Este o organizaţie regională (precum ANSI în SUA) ce se ocupă de standardizarea în domeniul telecomunicaţiilor europene (implementează recomandările ITU-T la nivelul continentului).

Bell Communications Research (Bellcore)

Este un puternic centru privat de cercetări în domeniu, dar are o influenţă deosebită în standardizare, prin recomandările elaborate (tehnologiile noi propuse), dezvoltate apoi de organizaţiile de standardizare. Un exemplu ar fi serviciile SMDS.

International Standards Organization/ International Electrotechnical Commission (ISO/IEC)

Este o organizaţie internaţională (sunt afiliate peste 90 ţări), formată din comitete tehnice, divizate în grupuri de lucru; domeniile în care organizaţia ISO (în colaborare cu IEC, prin formarea comitetului tehnic comun JTC 1) a avut o influenţă majoră sunt telecomunicaţiile şi tehnologia informaţiei, propunerile privind interconectarea sistemelor deschise (modelul ISO OSI) şi sistemele informatice în birotică fiind cele mai cunoscute.

O altă formă de lucru pentru dezvoltarea tehnologiilor şi apoi standardizarea lor o constituie organizaţiile de tip 'forum', formate din reprezentanţi ai firmelor producătoare, ai firmelor de vânzări şi ai utilizatorilor. Ei sunt mai putin interesaţi în standardizarea formală, cât sunt interesaţi în promovarea, dezvoltarea şi recunoaşterea unor noi tehnologii, cu participarea în paralel la dezvoltarea de standarde aferente. Cele mai importante forumuri actuale sunt: **Frame Relay Forum**, **SMDS Interest Group**, **ATM Forum** şi **Internet Engineering Task Force** (IETF).

Aceasta din urmă, împreună cu **Internet Research Task Force** (IRTF), conduce activităţile de dezvoltare ale meta-reţelei Internet, prima gestionând problemele de dezvoltare pe termen scurt, iar a doua fiind implicată în problemele de cercetare aferente dezvoltării pe termen lung.

1.4. Concepte folosite în comunicația de date și interconectarea calculatoarelor

Subcapitolul prezintă elementele teoretice de bază folosite în comunicațiile de date și definește principalele tehnici și concepte utilizate pentru realizarea rețelelor de calculatoare.

1.4.1. Concepte ale comunicației de date

Termenii sintactici cei mai folosiți în comunicații se referă la:

- **date**, definite ca entități care conțin informație;
- **semnale**, privite ca purtătoare de date;
- **transmisia**, definită prin comunicarea datelor folosind propagarea și procesarea semnalelor.

Celor trei termeni li se pot alătura atributele **analog** și **digital** (numeric), având acum definite câteva categorii:

- date analogice, care iau valori continue într-un anumit interval;
- date digitale, care iau valori discrete dintr-o anumită mulțime finită;
- semnal analogic, definit ca o undă electromagnetică continuă;
- semnal discret, definit ca o secvență de impulsuri de tensiune (sau curent).

Avantajele actuale oferite de transmisia digitală, ce folosește doar semnale discrete, sunt costul mai scăzut și influența mică a zgomotului asupra semnalului util; principalul său dezavantaj (în comparație cu transmisia analogică, ce folosește doar semnale analogice), este atenuarea mai pronunțată a semnalului de-a lungul mediului de comunicație.

Realizarea unor medii care au îmbunătățit mult parametrul atenuare, a făcut ca tendința actuală să fie spre transmisiile complet digitale; cu atât mai mult aceasta se aplică rețelelor locale, pentru care lungimea canalelor de comunicație nu este atât de mare.

De importanță pentru obiectul cărții (rețelele locale), sunt următoarele tehnici de transmisie a datelor, enumerate în ordinea descrescătoare a folosirii actuale:

- transmisia digitală a datelor digitale, folosind tehnicile de codare a datelor, pentru a îmbunătăți calitățile transmisiei;
- transmisia digitală a datelor analogice, realizată prin intermediul codării/decodării; codarea este procesul care transformă (aproximează)

semnalul analogic ce transportă datele într-un flux de biți;
- transmisia analogică a ambelor tipuri de date, folosindu-se modularea/demodularea semnalelor ce reprezintă informația.

Canalele de comunicație (de transmisie) se bazează pe mediile de transmisie folosite, și au o influență restrictivă asupra performanțelor sistemului de comunicație, limitând viteza de transmisie sau distanța transmisiei directe. Aceasta și datorită semnalului de zgomot, care afectează semnalul util de date. Pentru a permite detectarea (și corectarea, dacă este posibil) erorii, în structura de date trebuie încapsulată informație suplimentară, redundantă.

Tehnicile folosite de către protocoalele rețelelor locale pentru detectarea și corectarea erorilor, categoriile de canale de comunicație, structura lor și modurile de operare permise, precum și diversele topologii acceptate pentru realizarea rețelelor locale, fac obiectul prezentării ce urmează.

1.4.1.1. Tehnici pentru codarea datelor

Date digitale, semnale digitale

Cea mai simplă metodă pentru a reprezenta valorile binare este utilizarea unor semnale în tensiune bazate pe existența a două niveluri de tensiune. Metoda cea mai cunoscută este **NRZ** (*Non Return to Zero*), numită și **NRZ-L** (*NRZ - Level*), care folosește un nivel coborât (*low*) de tensiune (uzual zero sau negativ) pentru a reprezenta valoarea 0, și un nivel înalt, pozitiv (*high*), pentru reprezentarea valorii binare 1 (figura 1.1). Tehnica, foarte simplă și ieftină, prezintă două dezavantaje care o fac improprie folosirii în transmisiile sigure la viteze mari:

- este dificilă determinarea marginilor de biți (unde începe și se sfârșește fiecare bit), fiind necesare semnale suplimentare de ceas care să sincronizeze emițătorul și receptorul semnalului de date (aceasta este o aserțiune adevărată în cazul oricăror tipuri de transmisie, fie sincronă sau asincronă);
- pentru secvențe de biți de aceeași valoare, nu au loc tranziții ale semnalului, deci se va genera o componentă importantă de curent continuu; aceasta nu face posibilă folosirea elementelor ieftine de izolare electrică între echipamentele de comunicație și mediul înconjurător (elemente de cuplare în curent alternativ - transformatoare), și de asemenea poate provoca deteriorarea unor elemente electrice folosite pentru atașarea la mediu.

O îmbunătățire este adusă de varianta diferențială **NRZI** (*Non Return to Zero, Invert on ones*), care păstrează impulsuri de tensiune constantă în timpul

perioadelor de bit, dar codifică datele prin prezența sau nu a unei tranziții la începutul perioadei de bit (prezență tranziție pentru valoarea 1, lipsă tranziție pentru valoarea 0).

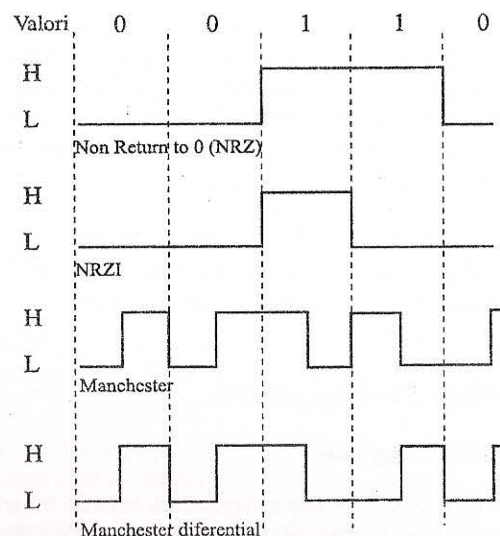


Figura 1.1 Codarea digitală

Avantajul suplimentar adus de această metodă este faptul că într-o codare diferențială semnalul este interpretat la decodare prin compararea polarității elementelor de semnal adiacente, şi nu prin compararea valorilor absolute.

Tehnicile de codare bifazice, reprezentate de metodele Manchaster şi Manchaster diferențial, ilustrate de figura 1.1, au fost proiectate pentru depăşirea acestor neajunsuri. Ambele metode folosesc pe perioada unui bit cel puțin o tranziție şi cel mult două tranziții. Deşi reclamă o bandă de transmisie în frecvență dublă față de NRZ, ele prezintă avantajele:

- permit sincronizarea, deoarece există întotdeauna o tranziție predictibilă într-o perioadă de bit;
- semnalul purtător de date nu are componentă continuă;
- folosirea tranzițiilor (şi nu a nivelelor) pentru codarea datelor, diminuează efectul zgomotului şi permite o detectare mai facilă a erorii (eroarea este dată acum de lipsa tranziției, nu de coborârea nivelului sub o limită).

Pentru codarea **Manchaster**, există întotdeauna o tranziție la mijloc de interval, semnalul de date putând servi şi ca semnal de ceas; sensul tranziției codifică datele:

- tranziția de la nivel ridicat (*High*) la nivel coborât (*Low*) codează valoarea 1;
- tranziția de la nivel coborât (*Low*) la nivel ridicat (*High*) codează valoarea 0.

Codarea **Manchaster diferențială** foloseşte tranziția de la mijlocul perioadei de bit doar ca semnal de ceas, codarea fiind făcută prin intermediul unei tranziții la începutul intervalului:

- dacă această tranziție există, se codează valoarea 0;
- daca tranziția la începutul perioadei de bit nu există, se codează valoarea binară 1.

Acest tip de codare este foarte folosit în domeniul rețelelor locale, mai ales cele bazate pe folosirea cablului torsadat.

Rețelele locale care transmit folosind semnale digitale poartă denumirea de **rețele în banda de bază**.

Date digitale, semnale analogice

Semnalizarea analogică se bazează pe folosirea unui semnal de frecvență constantă, numit **purtătoarea de date** (*data carrier*). Codarea datelor digitale se realizează prin modularea uneia dintre cele trei caracteristici ale semnalului purtător, sau a unei combinații a acestora; cele trei forme de bază sunt următoarele (ilustrate de figura 1.2):

- codarea prin deplasare în amplitudine **ASK** (*Amplitude Shift Keying*), pentru care cele două valori binare sunt reprezentate prin două valori diferite ale amplitudinii semnalului purtător; este o tehnică puțin folosită în transmisiile de date, fiind ineficientă;
- codarea prin deplasare în frecvență **FSK** (*Frequency Shift Keying*), pentru care valorile binare sunt reprezentate prin două frecvențe diferite ale purtătoarei, de obicei frecvențe simetrice (şi apropiate) față de frecvența de bază a purtătoarei;
- codarea prin deplasare în fază **PSK** (*Phase Shift Keying*), pentru care valorile binare sunt reprezentate prin succesiune de secvențe rafală, astfel:
    - valoarea 0, prin emiterea unui semnal rafală (de perioadă scurtă şi frecvență dată) de aceeaşi fază cu anteriorul semnal rafală;
    - valoarea binară 1, prin emiterea unui semnal rafală cu faza opusă.

Se pot imagina alte sisteme de codare în fază, precum sistemul de codare cvadri-fazică, care utilizează mai mult de două deplasări în fază şi care codează doi biți printr-un semnal rafală.

Tehnica PSK are cea mai bună comportare ca rezistență la erori.

Rețelele locale care folosesc transmisia analogică poartă numele de **rețele de bandă largă**.

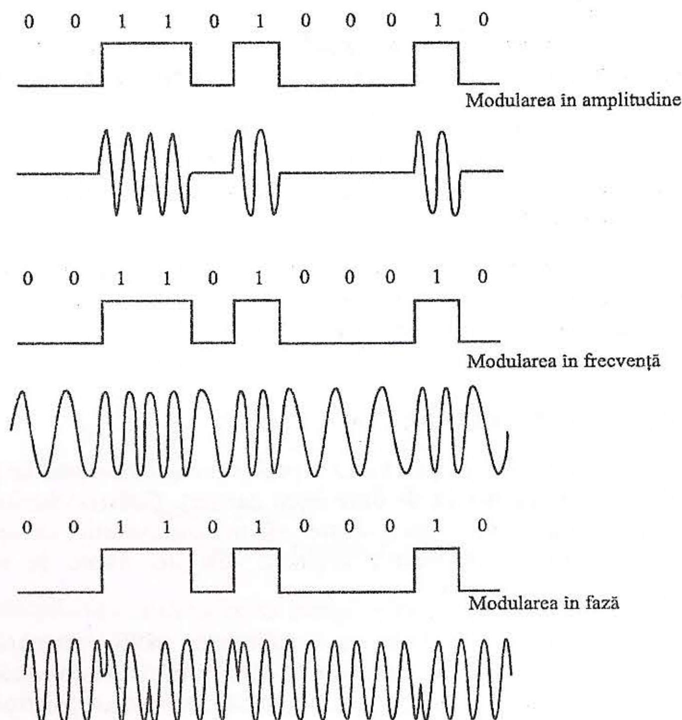


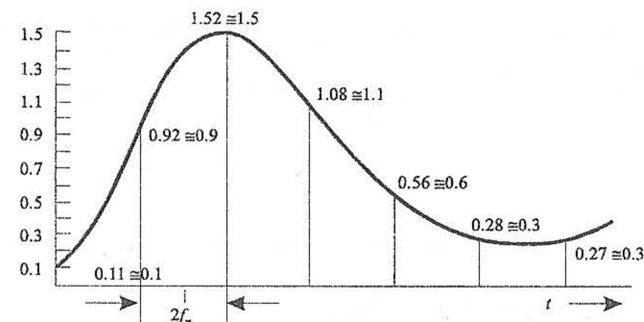
Figura 1.2 Codarea analogică a datelor

Date analogice, semnale digitale

Baza teoretică a utilizării transmisiei digitale pentru datele analogice o constituie teorema eșantionării, care definește rata minimă de eșantionare a unui semnal analogic, pentru ca eșantioanele să conțină informația necesară refacerii semnalului. Această rată este dublul frecvenței cele mai semnificative a semnalului.

Astfel, pentru un semnal vocal, a cărui bandă de frecvențe este limitată superior la 4KHz, sunt suficiente 8000 eșantioane/sec, pentru a-l transporta și apoi a-l reface în condiții normale.

Tehnica cea mai folosită pentru codarea semnalului vocal (implementată de echipamente de tip **codec**), este modularea în impulsuri de cod **PCM** (*Pulse Code Modulation*), ilustrată de figura 1.3.



Cifră	Echivalent binar	Modulare în impulsuri
0	0000	
1	0001	
2	0010	
3	0011	
4	0100	
5	0101	
6	0110	
7	0111	
8	1000	
9	1001	
10	1010	
11	1011	
12	1100	
13	1101	
14	1110	
15	1111	

Figura 1.3 Modularea în impulsuri de cod

Algoritmul de codare are următorii pași:

- se eșantionează semnalul analogic, cu o rată de eșantionare mai mare sau egală cu dublul frecvenței semnalului; eșantioanele obținute sunt încă analogice;
- pentru a fi convertite la valori digitale, ele sunt aproximate (cuantificate) prin una din valorile posibil a fi reprezentate de numărul de biți folosit pentru reprezentare; în cazul ilustrat în figură, unde semnalul analogic are o amplitudine de până la 1,5V, se folosesc patru biți pentru reprezentare, deci valorile posibile sunt 16, de la valoarea 0, până la valoarea 1,5 cu pasul de 0,1;
- valorile sunt exprimate sub forma unui tren de impulsuri.

Cu cât numărul de biți alocați pentru reprezentarea eșantionului (numărul de nivele pentru cuantificare) este mai mare, cu atât va fi mai exactă refacerea semnalului analogic, dar crește costul transmisiei prin creșterea ratei de transmisie a

semnalului (numărul de biți/sec necesari), sau a bandei necesar a fi oferită de canalul de transmisie.

O altă tehnică de modulare este modulația delta **DM** (*Delta Modulation*), o tehnică diferențială, precisă şi mai ieftină, dar mai puțin folosită în domeniul rețelelor de calculatoare.

1.4.2. Concepte ale interconectării calculatoarelor

1.4.2.1. Canale de comunicație

Canalele de comunicație se bazează pe mediile de transmisie şi se caracterizează prin diverşi parametri, precum:

- tipul de legătură realizată între emițătorul şi receptorul (receptorii) informației transmise pe canal, existând:
  - *canale punct-la-punct*, cu un singur emițător şi un singur receptor al informației transportate pe canal;
  - *canal punct-multipunct*, cu un singur emițător care transmite informație către mai mulți receptori, aflați în relație de subordonare față de emițător (relație master-slave);
  - *canale cu difuzare* (*broadcast*), specifice rețelelor locale 'tradiționale' bazate pe cablu coaxial, în care canalul este folosit în comun (împărțit) de către toate stațiile, care au astfel acces la informația transportată;
- sensul de transfer al informației pe canal la un moment dat, având canale:
  - ***simplex***, informația având un singur sens la un moment dat; sunt canale deja depăşite, fără utilitate în rețele;
  - ***semi-duplex*** (numite canale **HDX** sau *half-duplex*), specifice legăturilor master-slave, pentru care la un moment dat datele sunt generate doar de o singură stație, dar informație de control poate fi transmisă simultan şi de către alte stații;
  - ***duplex*** (**FDX** sau *full-duplex*), realizabile prin legături punct-la-punct, pentru care pe canal pot transmite simultan ambele stații conectate la acel canal.

Un aspect foarte important care trebuie luat în considerare la proiectarea canalelor de comunicație, este viteza maximă de transfer posibilă pe acel canal, aflată în corelare cu banda maximă de frecvențe permisă pe acel canal (şi care este întotdeauna limitată).

La modul ideal, un canal transmite informația fără pierderi, nefiind

afectat de semnale perturbatoare (semnal de zgomot). Chiar şi în aceste condiții există o limitare a vitezei teoretice de transmitere pe canal (viteza de transmisie se exprima în biți/sec, unitate notată în continuare bps). Ea este dată de **teorema lui Nyquist**:

$$v = 2 \cdot H \cdot \log_2 N$$

unde:

H	reprezintă banda de frecvență;
N	numărul de nivele pe care se codifică informația.

Viteza maximă de transfer de date a unui canal de comunicații afectat de erori (de zgomot), este dată de **teorema lui Shannon**:

$$v = H \cdot \log_2(1+S/N)$$

unde:

H	este banda de frecvență;
S/N	este raportul dintre puterea semnalului util S şi cea a semnalului de zgomot N.

Raportul semnal/zgomot se reprezintă de obicei prin expresia $10\log_{10}S/N$ şi se măsoară în dB (decibeli).

Un calcul sumar arată că un canal de transmisie destinat transmisiei telefonice, cu o lățime de bandă de 3KHz şi un zgomot termic de 30dB, nu va putea transmite la o rată mai mare de 30Kbps.

1.4.2.2. Tehnici de multiplexare

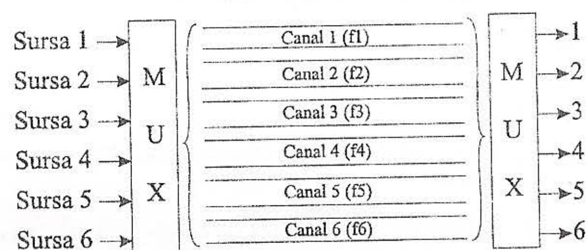
Multiplexarea este necesară atunci când capacitatea de transmisie a mediului de comunicație depăşeşte necesarul de transmisie a unui singur canal. În aceste condiții, pentru eficienta folosire a mediului de comunicație, este de dorit ca la un moment dat mediul să transporte mai multe semnale, obținute de la mai multe canale. Multiplexarea canalelor pentru transmiterea eficientă pe mediul de comunicație, este de două tipuri principale (ilustrarea lor se face în figura 1.4):

- multiplexarea cu divizarea frecvenței **FDM** (*Frequency-Division Multiplexing*);
- multiplexarea cu divizarea timpului **TDM** (*Time-Division Multiplexing*).

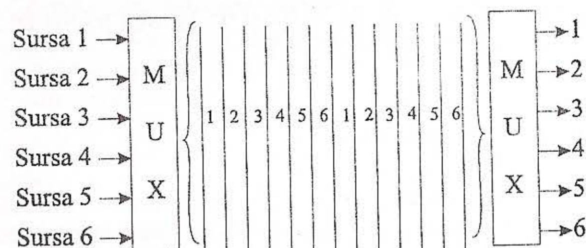
Tehnica **FDM** se bazează pe faptul că banda de frecvențe disponibilă depăşeşte cea necesitată de un singur semnal ce trebuie transmis. În acest fel, simultan se pot transporta mai multe semnale, se pot deservi mai multe surse de semnal. Fiecare semnal este transportat de o purtătoare de o anumită frecvență

şi are alocată o bandă, un canal, cum ilustrează figura. Semnalele sursă sunt preluate de un multiplexor, care apoi modulează fiecare semnal pe câte o frecvenţă. Frecvenţele purtătoarelor sunt separate în mod suficient, pentru ca benzile de frecvenţe ale semnalelor (centrate în jurul frecvenţei purtătoarei) să nu se suprapună (între ele există benzi de gardă). La capăt, un alt multiplexor demodulează şi reface semnalele originale.

Pentru multiplexarea semnalelor vocale, ce au un spectru de frecvenţe de la 300 la 3400Hz, un canal de 4KHz este suficient, prevăzând şi o bandă de rezervă (de gardă). Una dintre schemele standard de multiplexare prevede multiplexarea a 12 canale pentru voce, pe un trunchi de comunicaţie operând în banda dintre 60 şi 108KHz.



Multiplexare prin divizarea frecvenţei



Multiplexare prin divizarea timpului

Figura 1.4 Tipuri de multiplexare

Multiplexarea prin divizarea timpului **TDM** foloseşte faptul că rata posibilă de transmisie (exprimată în număr de biţi transmişi în unitatea de timp), pe un mediu de comunicaţie (uzual un trunchi de mare viteză), este superioară ratei cerute pentru transmisia unui semnal. În acest fel, pe acel trunchi de comunicaţie se pot transmite mai multe semnale, prin întreţeserea în timp de felii, sau bucăţi (*slots*) din fiecare semnal. Cum arată şi figura 1.4, acum canalele de transmisie realizate (canalul semnifică aici secvenţa de felii de timp dedicată unei surse de semnal) sunt 'pe verticală', sugerând faptul că acum fiecare semnal nu foloseşte o sub-bandă din banda totală oferită de mediu (cazul FDM), ci fiecare

semnal foloseşte în mod repetat şi pentru un timp scurt întreaga bandă. Întreţeserea feliilor (slot-urilor) semnalelor transportate este de obicei la nivel de blocuri de octeţi. Un ciclu de transmisie cuprinde câte o felie de la fiecare sursă de semnal şi poartă denumirea de **cadru** (*frame*).

Dacă dimensiunea temporală a acestor felii este prefixată, alocată static surselor de semnale multiplexate, tehnica TDM este **sincronă**; în caz contrar, când feliile sunt de dimensiuni temporale alocate dinamic, tehnica este **asincronă**.

Avantajul TDM se referă la posibilitatea de implementare în întregime cu componente discrete. Cel mai cunoscut standard pentru structura unui cadru transportator (*frame*) este transportatorul T1, folosit în transmiterea vocii codate digital (prin PCM). Numărul de surse de semnal vocal este de 24, codarea se face prin 7 biţi de date şi al optulea se foloseşte pentru semnalizare (control). Se obţine un şir de 192 de biţi, plus încă unul final pentru control şi sincronizare la nivel de cadru. Deoarece lăţimea de bandă a semnalului vocal este de 4KHz, sunt necesare 8000 eşantioane/sec pentru digitizarea semnalului, deci rata de transfer necesară va fi de 1,544Mbps.

1.4.2.3. Transmisia sincronă şi asincronă

Una dintre condiţiile unui corect schimb de informaţii între un emiţător şi unul, sau mai mulţi receptori, este ca la recepţie să se cunoască exact momentul începerii şi durata fiecărui bit recepţionat; în acest fel există premizele ca întreg mesajul emis de sursă să fie corect interpretat la recepţie.

Prima modalitate imaginată pentru a transmite datele a fost **transmisia asincronă**, care se bazează pe transmisia datelor sub formă de **caractere**. Un caracter constă dintr-o secvenţă de 5-8 biţi, iar setul de caractere standard folosit în tehnologia informaţiei este cunoscutul set ASCII. În modalitatea de transmitere asincronă, fiecare caracter este precedat de un cod de *start* şi este urmat de un cod de *stop*. Secvenţa de *start* codează bitul 0 şi are o durată de un bit. Secvenţa de *stop* codează valoarea 1 şi are o durată de 1, 1,5 sau 2 biţi, depinzând de sistem.

În lipsă de informaţie de transmis, emiţătorul va genera pe linie, în mod continuu, un cod de stop. Receptorul detectează începutul unei transmisii, sau mai exact a unui nou caracter prin sesizarea unei tranziţii de la valoarea 1 la valoarea 0. Este important ca receptorul să cunoască durata de bit, pentru a interpreta corect caracterul; o mică deplasare de ceasuri poate exista (până la 1% per bit), deoarece rolul secvenţei de stop este şi de resincronizare.

Transmisia se numeşte **asincronă**, datorită faptului că informaţia (structurată pe caractere) poate fi transmisă în mod asincron (caracterele pot fi transmise independent unul faţă de altul, cu rate diferite de transmisie).

Tehnica de transmisie asincronă este simplă şi ieftină, singurul impediment poate fi faptul că se introduce o încărcare suplimentară (*overhead*), datorită secvenţelor de biţi de start şi stop.

Transmisia sincronă este mai eficientă, reducând încărcarea suplimentară introdusă de către secvențele de start și stop aferente fiecărui caracter transmis. Transmisia sincronă nu lucrează la nivel de caracter, ci la nivel de bloc de biți (sau bloc de caractere). Dificultatea sa se referă la necesitatea sincronizării mult mai evidente între ceasurile de la emisie și de la recepție. Este nevoie la recepție să se prevadă cu o corectitudine acceptabilă începutul și durata fiecărui bit. Pentru aceasta s-a prevăzut la început o linie suplimentară pentru transportul semnalului de ceas. O metodă eficientă este înglobarea de informație de sincronizare în cadrul semnalului de date. Codarea bifazică rezolvă aceasta pentru transmisiile digitale. Pentru transmisiile analogice semnalul purtător de date este cel care stă la baza sincronizării între stațiile emițătoare și receptoare.

Deoarece pentru transmisia sincronă informația este structurată în blocuri de date (cu un număr oarecare de biți sau caractere), este nevoie de încă un nivel de sincronizare, la nivelul transmisiei acestor blocuri, pentru ca la recepție să se determine clar începutul și sfârșitul lor. Pentru aceasta, blocul de date va conține un câmp de început, cu rol de sincronizare și având o structură de biți sau caractere șablon (câmpul se numește generic câmp **preambul**) și de asemenea un câmp de sfârșit, având același rol (și structură șablon posibil identică), numit câmp **postambul**. Structura astfel definită, cuprinzând câmpurile pentru sincronizare de început și sfârșit, precum și datele propriu-zise, poartă numele de **cadru** (*frame*).

Schemele de transmisie sincronă au fost inițial orientate pe caracter (câmpurile de sincronizare erau realizate prin caractere '*sync*'), dar actualmente sunt în totalitate orientate pe bit (în sensul că blocul de date este tratat ca un flux de biți). Exemple pentru structuri de cadre se pot găsi în capitolul 4, referitor la protocoalele MAC și capitolul 7, referitor la protocoale ale legăturii de date.

1.4.2.4. Tehnici de comutare

Soluția cea mai simplă pentru a realiza comunicația între calculatoare (ele vor fi numite în continuare **stații** sau **calculatoare gazdă** - *hosts*), este de a le atașa la o rețea de comunicații. Rețeaua de comunicații constă dintr-o mulțime (organizată ca un graf) de echipamente (noduri), care nu au decât rolul de a asigura transferul informației de la o stație sursă către stația (stațiile) destinație.

Rețelele tradiționale de comunicații, în speță sistemul telefonic, au funcționat pe baza comutării, fiind înzestrate cu elemente speciale de comutare, numite **comutatoare** (*switch*). Acest principiu, al comunicării prin folosirea comutării, a rămas valabil și astăzi, deși comunicația este asigurată mai ales prin alte tehnici de comutare decât cea folosită de sistemul telefonic.

Tehnicile de comutare sunt:

- comutarea circuitelor;

- comutarea mesajelor;
- comutarea pachetelor.

Comutarea circuitelor

Comutarea circuitelor presupune realizarea unei căi fizice de comunicație (unui circuit) între stația emițătoare și cea receptoare. Calea pentru transmisie este realizată printr-o secvență de legături între nodurile rețelei de comunicație, și ea este dedicată acelei transmisii.

Comunicarea prin comutarea circuitelor implică existența a trei faze distincte:

- **stabilirea circuitului**, a căii de comunicație între emițătorul datelor și receptorul acestora; pe baza adresei stației destinație, nodurile din rețeaua de comunicație stabilesc o cale (de obicei optimă) de la emițător la receptor, cale dedicată acelei transmisii de date;
- **transmisia efectivă a datelor** pe calea (circuitul) stabilită anterior;
- **deconectarea circuitului** (căii fizice), la acțiunea unei dintre părțile comunicante.

Exemplul cel mai cunoscut de utilizare a comutării de circuite este sistemul telefonic și folosirea comutatoarelor digitale pentru rețelele locale de comunicație integrată a datelor și semnalului vocal (numite **PBX** – *Private Branch Exchange*). De remarcat de asemenea că metoda s-a folosit și la conectarea terminalelor la un calculator-gazdă de tip mainframe.

Este o tehnică de comutare ce prezintă astăzi multiple dezavantaje, legate de:

- eficiență, diminuată prin existența fazei de stabilire a circuitului și prin faptul că circuitul este alocat, chiar dacă nu există transfer de date;
- faptul că un circuit este alocat înaintea transferului efectiv, deci trebuie avută la dispoziție o lățime de bandă acoperitoare celei reale;
- necesitatea ca ambele stații care comunică să fie disponibile, ca o condiție pentru stabilirea circuitului;
- existența multor cabluri, necesare cuplării stațiilor la comutatoare;
- circuitele pentru comutare nu au memorie tampon necesară echilibrării ratei transmisiei cu cea a recepției.

Un exemplu modern pentru circuite comutatoare îl constituie tehnologia ATM, pentru care comutatorul ATM este elementul central al transmisiei.

Comutarea mesajelor

O alternativă oferită eliminării unei părți a dezavantajelor prezentate de comutarea circuitelor, este comutarea mesajelor, ce realizează transferul de date dintre calculatoare prin intermediul unor secvențe de mesaje. În acest sens, informația care trebuie transferată este împărțită în entități bine definite, numite

mesaje. Ele sunt complet independente unele față de altele, pot avea lungimi diferite, dar în general structura (formatul) lor este fixă. Între două stații care comunică, mesajele circulă în ambele direcții, transportând informație diversă (date, control). Pentru ca mesajele să poată fi transportate de rețeaua de comunicații, este necesar ca în structura lor să existe informație despre stația destinație (adresa destinație); ea este înscrisă de stația sursă a mesajului, într-un câmp prestabilit și, pe baza acesteia, elementele rețelei de comunicație vor stabili ruta de urmat. Deci acum elementele de realizare a comunicației sunt elemente cu o anumită complexitate, în general sisteme de calcul; ele trebuie să primească mesajele, să le memoreze temporar și să analizeze adresa destinație, pentru a le transmite către următorul element al rețelei de comunicație (nod) din calea către destinație. Pe scurt, elementele se pot numi de tip 'memorează temporar și apoi înaintează mesajul' (*store & forward message system*).

Calea pe care este transmisă informația între două stații nu mai este dedicată; ea este stabilită în funcție de un criteriu de performanță și în funcție de starea fizică efectivă a rețelei de comunicație. Fiecare nod din rețea are memorate structurile de date necesare cunoașterii căii de urmat de către un mesaj către o anumită destinație (a liniei de ieșire în coada căreia va fi pus în așteptare mesajul).

Avantajele oferite de tehnica comutării mesajelor se referă la:

- creșterea eficienței transmisiei, prin faptul că o legătură între două noduri de comunicație poate fi folosită de diverse mesaje, de la diverse surse și (eventual) către diverse destinații;
- posibilitatea alocării de priorități pentru mesaje și posibilitatea implementării prin mesaje a unor mecanisme pentru controlul erorii și al fluxului;
- posibilitatea echilibrării ratelor de transmisie și recepție, prin intermediul zonelor de memorie tampon din noduri.

Principalul dezavantaj este faptul că dimensiunea mare a mesajelor, și deci întârzierile uneori importante care pot apărea prin memorarea în noduri, nu face tehnica potrivită pentru transportul traficului de timp real sau puternic interactiv. Pentru aceasta s-a impus a treia tehnică, comutarea pachetelor.

Comutarea pachetelor

Comutarea pachetelor reprezintă încercarea de a combina avantajele celor două tehnici prezentate și de a le minimiza dezavantajele; analizele arată că pentru volum mare de trafic între un număr mediu de stații, s-a reușit. În funcție de apropierea de una sau alta dintre tehnicile anterioare, s-au definit două variante ale comutării de pachete:

- varianta bazată pe folosirea **datagramelor**, apropiată de comutarea mesajelor;

- varianta ce folosește **circuitul virtual**, apropiată de comutarea circuitelor.

Cele două variante au însă în comun faptul că entitatea informațională care este transportată în rețea este pachetul, rezultat prin divizarea mesajului în unități mai mici. Lungimea unui pachet este în general sub 1000 octeți, iar la unele protocoale 802.x, chiar mai redusă.

Varianta bazată pe **datagrame** consideră fiecare pachet ca o entitate independentă (asemănarea cu tehnica comutării mesajelor); pachetele sunt tratate de rețeaua de comunicații în mod independent și sunt dirijate pe baza adresei stației destinație. Alternativa cea mai simplă nu consideră necesară nici măcar informație despre succesul operației de transmisie. Datagrama a fost transmisă, și atât! Se folosește deseori însă o variantă cu achitare (numită cu ACK - *acknowledge*), pentru care se consideră informația pe calea inversă (transmisă de receptor către emițător), ce se referă la succesul operației. Această informație de achitare este încapsulată, pentru eficiență, într-un cadru de date transmis pe calea inversă (metoda se numește *piggybacking*).

Protocoalele bazate pe datagrame au avantajul rapidității și flexibilității, fiind acceptate în domeniul rețelelor locale, pentru care rata de eroare este foarte mică și unde viteza (chiar și simplitatea) este un parametru esențial.

Varianta bazată pe **circuit virtual** se aseamănă cu tehnica comutării circuitelor, în sensul că și aici se stabilește o conexiune între stațiile sursă și destinație, dar conexiunea este una logică. Ea este stabilită înaintea transmisiei datelor propriu-zise, și se realizează prin schimb de pachete speciale de stabilire a conexiunii. Și aici conexiunea este dedicată, dar o conexiune logică se poate implementa prin diverse conexiuni fizice. Metoda circuitului virtual este sigură, dar mai complexă, și afectează viteza, de aceea este mai puțin folosită de protocoalele rețelelor locale (mai ales de cele de la nivelele inferioare).

Rețelele locale, prin faptul că în majoritatea cazurilor, există o singură cale, una directă, între stația sursă și cea destinație, înglobează puține (și simple) funcții pentru adresare, dirijare sau comutare. Pentru o optimă utilizare a mediului de comunicație se preferă tehnica comutării pachetelor, care permite și implementarea prin intermediul pachetelor a funcțiilor de control pentru transmisie.

2. MODELE DE REFERINȚĂ

Capitolul realizează o introducere a modelelor arhitecturale de referință pentru rețelele de calculatoare, prezentând succint modelele arhitecturale **ISO/OSI** și **TCP/IP**, definind apoi arhitectura rețelelor locale și propunând modelul **IEEE 802** ca model de referință pentru acestea.

2.1. Modelul de referință ISO/OSI

2.1.1. Generalități

La sfârșitul anilor '70, Organizația Internațională pentru Standardizare (**ISO** - *International Standards Organization*), realizează necesitatea elaborării unei serii de standarde pentru rețelele de calculatoare și, începând cu 1977, lansează proiectul **OSI** (*Open System Interconnection*). Acesta devine un standard care propune un **model de referință pentru interconectarea sistemelor deschise** (*Reference Model for Open System Interconnection*). Documentul principal care ilustrează această muncă este standardul ISO 7498.

Arhitectura unui sistem referință este concepută pentru a permite conectarea a oricăror două sisteme neomogene prin intermediul unor **interfețe** referință, permițând dezvoltarea și conectarea la arhitectura existentă a oricăror alte sisteme; legăturile între sisteme sunt realizate prin intermediul interfețelor referință. Comportarea sistemului este modelată prin **modelul de referință**, model abstract care comunică între ele. Standardul dedicat construirii de sisteme cooperante, care comunică între ele. Standardul modelului de referință prevede o bază comună pentru definirea standardelor internaționale privind schimbul de informație între sisteme (terminale, calculatoare, rețele, procese), neavând deci ca scop definirea de servicii sau protocoale specifice. Astfel, aceste sisteme devin **deschise** unul altuia (*open systems*), putând fi combinate în cadrul arhitecturii, ca urmare a utilizării interfețelor referință (*reference interfaces*) admise. Modelul de referință ISO/OSI este un model abstract, orientat pe conexiune, sistemele fiind considerate pe baza comunicațiilor dintre ele.

2.1.2. Principiile arhitecturale ale modelului de referință

Elementele modelului de referință

Elementele modelului de referință sunt (ilustrate de figura 2.1):

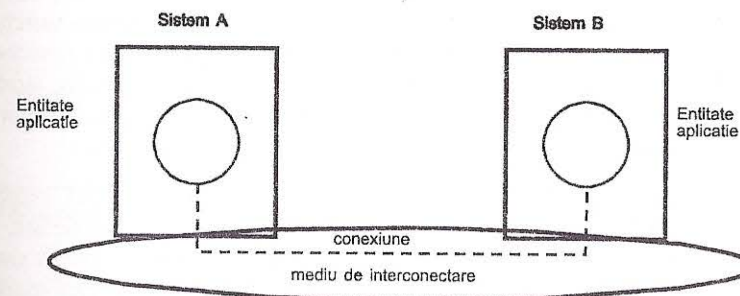


Figura 2.1 Elementele modelului de referință

- **sistemul**

  Cuprinde unul sau mai multe calculatoare, împreună cu software-ul aferent și împreună cu terminalele, perifericele, procesele-aplicație ce se execută, și chiar operatorii umani. Procesele aplicație sunt activități executate în scopul realizării unei aplicații.

- **entitatea aplicație**

  Este o componentă a procesului aplicație, fiind considerată o unitate discretă și complet definită, având proprietăți bine definite. Entitățile sunt aferente nivelelor arhitecturale (*architectural layers*), definindu-se cooperarea între entități din cadrul aceluiași strat (nivel), din straturi adiacente sau din straturi pereche (*peer layers*), ce fac parte din sisteme diferite. Într-un sens mai larg, prin **entitate** se înțelege orice obiect capabil de a schimba informație cu mediul în care se manifestă.

- **conexiunea**

  Are rol de stabilire a legăturilor (asocierilor) între entitățile aplicație cooperante.

- **mediul de interconectare**

  Reprezintă modelul mediului fizic folosit în intercomunicare.

Categoriile de funcții prevăzute de modelul de referință

Funcțiile complexe utilizate în realizarea sistemelor distribuite (funcții de comunicare de date și de procesare de date), sunt privite în cadrul modelului ISO/OSI ca o mulțime structurată, folosindu-se tehnica stratificării (*layering*). Fiecare sistem este considerat ca o mulțime ordonată de subsisteme, acestea fiind grupate pe nivele ierarhice (straturi). Specificarea interconectării sistemelor deschise impune definirea relațiilor între subsistemele de pe straturile pereche (pe orizontală) și, în cadrul fiecărui sistem, a celor între subsistemele de pe straturile adiacente (pe verticală). La baza stabilirii nivelelor arhitecturale ale modelului stau diferite principii generale, ca:

- stabilirea unui număr rezonabil de nivele, fiecare nivel colectând funcții relativ apropiate semantic și îndeplinind un rol bine definit;
- între nivelele adiacente, interfața să fie bine definită, dar relativ simplă, respectiv numărul de cereri de servicii și numărul de servicii oferite să fie minim;
- fiecare nivel să opereze cu funcții diferite de ale celorlalte (specifice), iar modificarea funcțiilor în cadrul unui nivel să nu implice modificări în cadrul altuia;
- noua arhitectură să păstreze cât mai mult posibil realizările și standardizările existente.

Modelul OSI propune o arhitectură stratificată pe șapte nivele, ca în figura 2.2.

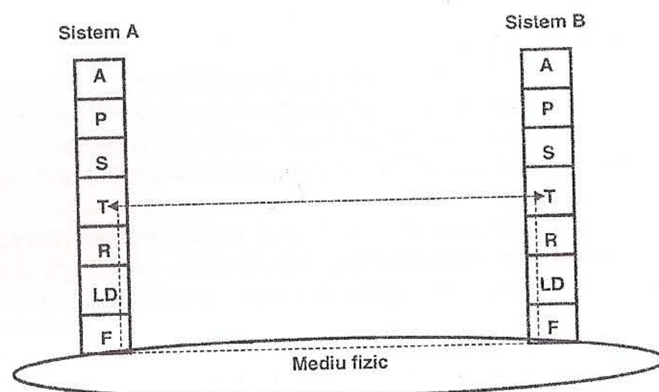


Figura 2.2 Arhitectura modelului de referință

Principalele funcții ale fiecărui nivel arhitectural sunt enumerate în tabelul următor, urmat, pentru o mai bună înțelegere, de o prezentare sintetică:

7 – Nivelul Aplicație Funcții de management, procese aplicație utilizator, servicii dependente de aplicație
6 – Nivelul Prezentare Funcții de interpretare și transformare a reprezentării datelor, comprimarea mesajelor, securitatea datelor
5 – Nivelul Sesiune Funcții de control al dialogului între procese, segmentare, sincronizare
4 – Nivelul Transport Transferul transparent al datelor, funcții pentru controlul capăt-la-capăt al transmisiei, multiplexarea conexiunilor, adresare, asamblare/dezasamblare mesaje, transfer date prioritare, control flux
3 – Nivelul Rețea Funcții pentru dirijare în rețea, control flux, segmentare, blocare, controlul erorilor, gestionarea conexiunilor
2 – Nivelul Legăturii de Date Funcții pentru stabilirea, folosirea și eliberarea unei conexiuni legătură de date, controlul erorii, a fluxului de date
1 – Nivelul Fizic Prezintă caracteristicile electrice, mecanice și funcționale ale interfeței către mediul fizic de comunicație

Tabel 2.1 Funcțiile nivelelor arhitecturale OSI

Nivelul 7, **Aplicație** (*Application*)

Conține programe aplicative ale sistemului de operare sau ale utilizatorilor, programe ce permit utilizatorului final să exploateze rețeaua. Nivelul cuprinde o serie de protocoale standard ce rezolvă incompatibilitățile dintre implementările diferite ale aceluiași tip de aplicație. Cele mai cunoscute protocoale standard de la nivelul aplicație sunt cele de terminal virtual, transfer de fișiere, poșta electronică, introducerea lucrărilor la distanță, examinarea cataloagelor (directoarelor), gestionarea rețelelor, aplicații grafice.

Nivelul 6, nivelul **Prezentare** (*Presentation*)

Oferă servicii de transformări asupra datelor, operând la nivelul sintactic și semantic al informației transmise. Serviciile tipice oferite de nivel sunt: compresia datelor, translatarea (codificarea) datelor în/dintr-un format standard pentru transfer, criptarea/decriptarea, autentificarea, etc.

Nivelul 5, nivelul **Sesiune** (*Session*)

Este responsabil cu organizarea dialogului între programele aplicație care comunică prin rețea. Principalele funcții îndeplinite se referă la transferul

datelor capăt-la-capăt (*end-to-end*), oferindu-se servicii avansate, precum controlul dialogului între procesele aplicație (mono sau bi-direcțional), sincronizarea (inserarea de puncte de control pentru reducerea cantității de date retransmise în cazul unei erori), gestionarea jetonului (*token management*), pentru efectuarea excluderii mutuale în cazul unei operații critice.

Nivelul 4, numit nivelul **Transport** (*Transport*)
Constituie 'mijlocul' arhitecturii, făcând separația între nivelele superioare, independente de comunicație și nivelele inferioare, dependente de tehnologia comunicației. Nivelul furnizează transferul transparent al informației schimbate între entitățile nivelului superior **Sesiune** (comunicația capăt-la-capăt), având ca principale funcții: fragmentarea datelor (formarea unităților de date proprii nivelului), dacă este cazul, transferarea lor nivelului inferior **Rețea** și asigurarea că datele sosesc corect la celălalt capăt (nivelul **Transport** pereche), prin realizarea controlului erorii și al fluxului.

Nivelul arhitectural 3, nivelul **Rețea** (*Network*)
Gestionează transferul datelor printr-o rețea de comunicații (subrețea). Principalele funcții se referă la formarea unităților de date (pachete), dirijarea lor prin rețea de la sursă la destinație, controlul erorii și al fluxului, controlul trecerii datelor dintr-o rețea în alta (interconectarea rețelelor).

Nivelul 2, nivelul **Legătură de date** (*Data Link*)
Furnizează nivelului **Rețea** o linie de date (legătură de date), fără erori de transmisie. Aceasta se realizează prin formarea unor unități de date proprii, numite cadre (*frames*) și gestionarea transmiterii lor prin control de eroare și de flux pe linie.

Nivelul 1, nivelul **Fizic** (*Physical*)
Prevede interfața fizică între echipamentele de comunicație și specifică regulile prin care biții sunt transmiși pe canalele de comunicație. Nivelul specifică interfețele mecanice, electrice, funcționale și procedurale pentru realizarea comunicației printr-un mediu de transmisie fizic existent.

Elementele unui strat arhitectural

Fiecare strat arhitectural al modelului de referință este compus din următoarele elemente:

- **entitățile**, unități funcționale ale stratului, participând la realizarea funcțiilor acestuia;
- **protocoalele**, controlează cooperarea între entități;

- **serviciile**, ilustrând capabilitatea funcțională a acelui strat; modelul de referință prezintă modelul abstract al serviciului.

Relațiile între subsisteme sunt considerate sub forma **utilizatorilor de servicii** (*service users*) și a **furnizorilor de servicii** (*service providers*), întotdeauna cererea de serviciu fiind făcută stratului inferior, iar furnizarea serviciului fiind către stratul adiacent superior. Descrierea interacțiunilor între un utilizator și furnizor de serviciu se face prin **primitiva abstractă de serviciu** ASP (*Abstract Service Primitive*).
Sintactic, o primitivă abstractă de serviciu se compune din trei părți, separate (sau, în lipsa confuziilor, neseparate) prin delimitatori (. sau -), și anume:

- inițiala stratului OSI la care se face referire;
- numele colectiv al grupului de primitive;
- numele individual al primitivei.

Exemplu:

T-Connect.req — este numele primitivei pentru cererea de stabilire a conexiunii la nivel **Transport**

Primitivele pot avea parametri.
Un utilizator de servicii va emite primitive de tipul **request** sau **response**, iar furnizorul de servicii va emite primitive de tipul **indication** sau **confirmation** (ilustrarea este dată de figura 2.4).

- **punctele de acces la servicii SAP** (*Service Access Points*), aferente interfețelor între nivelele adiacente, sunt folosite pentru schimbul de informație între straturile adiacente.

Aceste elemente sunt ilustrate în reprezentarea din figura 2.3.

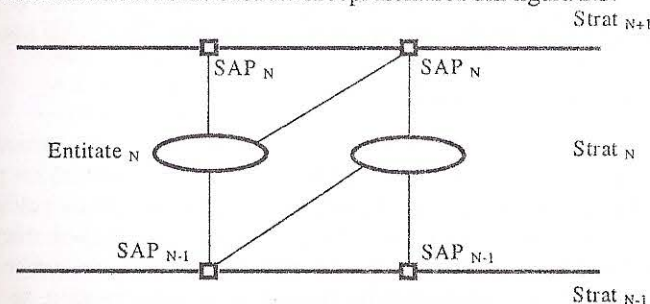


Figura 2.3 Elementele unui strat arhitectural

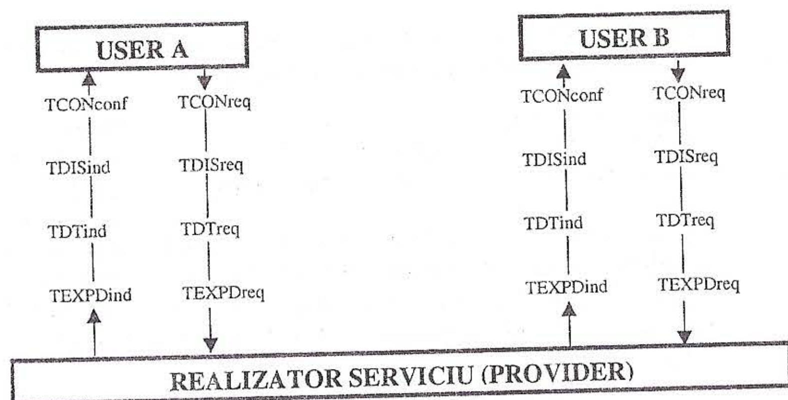


Figura 2.4 Primitivele de serviciu

Descrierea primitivelor de serviciu aferente unui strat constituie **specificația serviciilor** (cerințele de servicii). Natura acestei specificații este conceptuală, ea precizând doar efectul primitivei, același, indiferent de natura subsistemelor înconjurătoare (interfețele cu straturile adiacente).

Transferul datelor în modelul ISO/OSI se bazează pe noțiunea de **unitate de date a protocolului, PDU** (*Protocol Data Unit*), unitate gestionată în cadrul nivelului respectiv și transmisă nivelului arhitectural pereche. Această transmisie 'pe orizontală' se obține însă printr-o serie de transmisii 'pe verticală', prin intermediul nivelelor arhitecturale inferioare. Astfel, la sistemul emițător al datelor, unitatea de date PDU pentru oricare nivel, se obține prin adăugarea la structura de date primită de la nivelul superior, a unei informații de control proprii nivelului respectiv. Adăugarea se realizează la nivelul interfeței cu nivelul adiacent superior (la nivelul punctelor de acces la servicii). În acest fel, fiecare nivel adaugă extra-informație (*overhead*), lucru ce nu întotdeauna folosește. Procesul se repetă până la nivelul fizic, unde datele, sub forma unui flux de biți, sunt transmise efectiv către sistemul receptor. Aici, pe parcursul ascendent către nivelul aplicație, fiecare nivel își elimină din propria unitate de date antetul adăugat la nivelul pereche al sistemului sursă și livrează nivelului adiacent superior structura de date obținută.

Exemplu de comunicație OSI

Se dă un exemplu tipic pentru un scenariu asociat unei comunicații OSI. Să presupunem că un sistem final (calculator gazdă local) rulează un program client care dorește servicii ale unui program server situat pe un calculator la distanță, conectate fiind cele două calculatoare prin intermediul unei rețele. Deci, cele două sisteme interconectate sunt calculatorul local, pe care se execută un program client și calculatorul la distanță (*remote*), pe care se execută programul server. În acest caz avem de-a face cu o comunicație între staturi

pereche, între nivelele **Aplicație**.

Standardul OSI prevede pentru realizarea acestei comunicații o serie de primitive și definește o serie de unități de date PDU, oferind un scenariu destul de complicat pentru simplitatea actului de comunicatie.

Calculatorul local execută un program de tip client și presupunem că programul client este gata să transmită date către server, precum o cerere pentru aflarea unei adrese asociate unui nume. Înainte de a trimite aceste date, programul client trebuie să devină o entitate a nivelului **Aplicație**, deci va stabili o legătură cu biblioteca de programe de comunicații din acel sistem. Programul se va asocia deci nivelului **Aplicație**, și va genera un apel de funcție de asociere, numită 'A-Associate.req', care va declanșa procesul comunicației.

Procesul comunicației implică faza **stabilirii** inițiale a **conexiunii**, care are următorii pași:

- Nivelul **Aplicație** va lansa către nivelul adiacent inferior, nivelul **Prezentare**, o primitivă de cerere de conectare, numită 'P-Connect.req'.
- Nivelul **Prezentare** va prelua cererea și va stabili formatul datelor suportat de calculatorul local și formatul datelor ce vor fi transportate în rețea, eventual folosind algoritmi pentru asigurarea protecției datelor.
- Aceste informații sunt prezentate nivelului **Sesiune**, prin intermediul unei cereri de conexiune 'S-Connect.req' și a unităților de date ale protocolului la nivel **Sesiune**, S-PDUs.
- Nivelul **Sesiune** alocă un număr identificator de sesiune și selectează protocolul de 'conversație' între entitățile aplicație din cele două sisteme, potrivit specificului aplicației (de tip client-server în acest caz). La acest nivel se identifică și sistemul pereche, deci se identifică calculatorul unde rulează aplicația server. Toate aceste informații sunt transmise mai jos, stratului **Transport** prin intermediul primitivei de conectare 'T-Connect.req'. De remarcat că de la nivelul **Transport** în jos intervine propriu-zis problema comunicației, succesul conectării fiind cunoscut la nivelul **Transport**. De aceea unele protocoale la nivel **Sesiune** pot aștepta întâi efectuarea cu succes a conexiunii la nivel **Transport**, și abia după aceea să transmită propriul SDU cu informațiile primite de la straturile superioare. Să presupunem în continuare acest caz, mai complex, dar mai sigur.
- Nivelul **Transport** identifică nu numai sistemul pereche, dar și procesul server care se execută acolo, deci se identifică portul (*socket*, în terminologia **UNIX**), la care se manifestă procesul și de asemenea stabilește tipul de protocol ce va fi folosit, pentru a se asigura siguranța și optimalitatea procesului de comunicație. Toate acestea sunt imbricate în unitatea de date proprie T-PDU și se va emite o cerere de conectare 'N-Connect.req' către stratul **Rețea**.

- Stratul **Rețea** va procesa primitiva 'N-Connect.req', va adăuga informația proprie și o va transmite către nivelul **Legăturii de date**. Putem presupune că deja există o conexiune la nivelul **Legăturii de date** și la nivelul **Fizic** cu sistemul intermediar cel mai apropiat (nu neapărat de la început cu sistemul terminal pereche!).
- La nivelul **Legăturii de date** se va forma fluxul de biți către nivelul **Fizic**, reprezentând de fapt cadrul cu cererea de conectare (unitatea de date al nivelului **Legăturii de date**), care va parcurge mediul **Fizic** de comunicație, ajungând în final (prin intermediul sistemelor intermediare din rețea) la nivelul **Fizic** al sistemului țintă, fiind procesat la nivelul **Legăturii de date** al acelui sistem și apoi la nivelul **Rețea**.
- La nivelul **Rețea** se procesează informația (acum se trunchiază din pachetul receptat, îndepărtându-se informațiile specifice stratului, nenecesare straturilor superioare) și se emite către stratul superior, stratul **Transport** o primitivă 'N-Connect.ind', ce 'indică' dorința de stabilire a unei conexiuni.
- Nivelul **Transport** va procesa pachetul primit, trecând spre stratul **Sesiune** o primitivă 'T-Connect.ind', împreună cu datele necesare.
- Stratul **Sesiune** va procesa informația și dacă este apt pentru comunicație, va confirma conexiunea, generându-se către stratul **Transport** 'răspunsul', prin primitiva 'T-Connect.res'.
- Stratul **Transport** va genera primitiva 'N-Connect.res', care va fi transmisă prin intermediul straturilor inferioare către sistemul pereche, ajungând aici la stratul **Rețea** sub forma unei confirmări, transmisă stratului **Transport** ca 'N-Connect.conf'.
- Stratul **Sesiune** va primi de la stratul **Transport** confirmarea conexiunii la nivel **Transport** sub forma primitivei 'T-Connect.conf' (ilustrate de figura 2.5).
- Acum, comunicația fiind sigură, stratul **Sesiune** poate să-și trimită propriul S-PDU, care conține informațiile specifice nu comunicării, ci aplicației. Ea va transmite această informație ca pachete ale nivelului **Transport**, deci prin intermediul unei primitive 'T-Data.req' (figura 2.6).
- Pachetul va ajunge prin intermediul straturilor asociate cu procesul comunicației din ambele sisteme (se generează primitiva 'N-Data.req' în sistemul inițiator, informația ajunge sub forma primitivelor 'N-Data.ind' și apoi 'T-Data.ind') la nivelul **Sesiune** din sistemul apelat.
- La acest nivel se analizează propunerile stratului sesiune pereche și se generează către stratul superior primitiva 'S-Connect.ind'.
- Analog, în cadrul stratului **Prezentare** se analizează informația de la stratul pereche și se generează primitiva 'P-Connect.ind'.

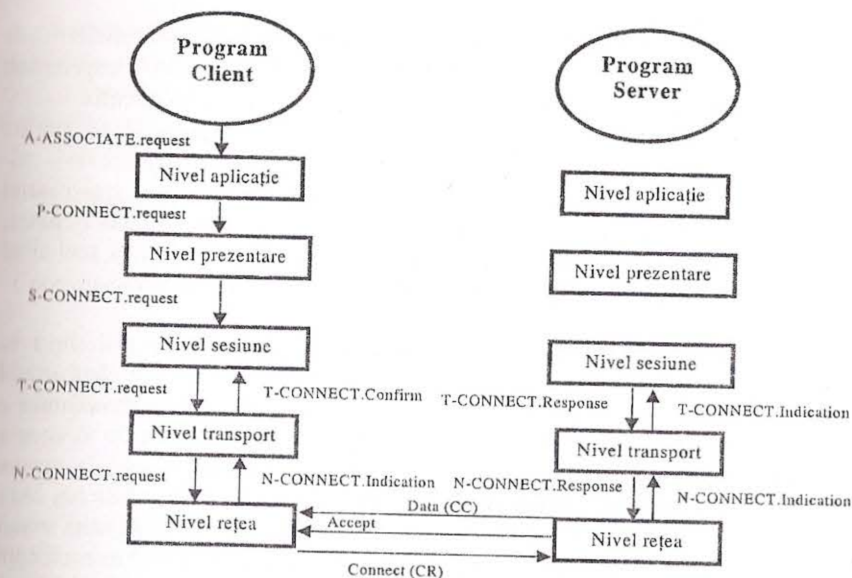


Figura 2.5 Desfășurarea primei faze a comunicației

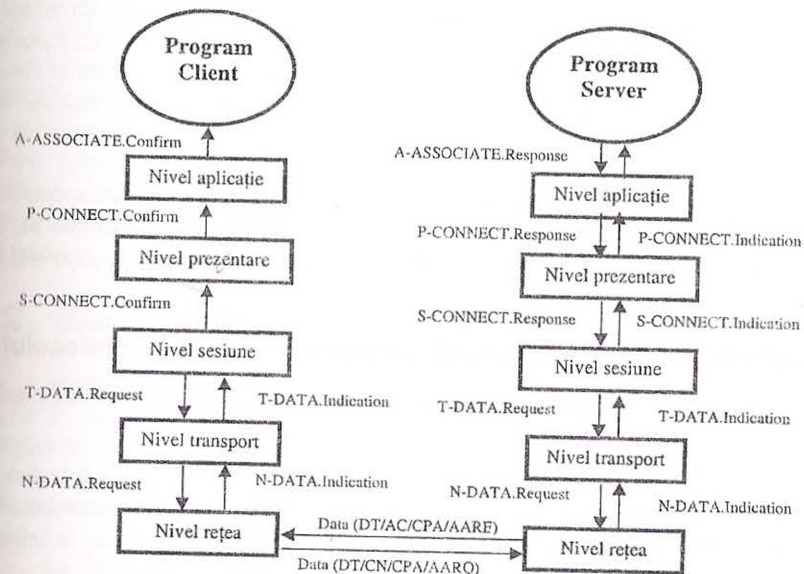


Figura 2.6 Faza a doua a comunicării

- Stratul **Aplicație** din sistemul apelat va răspunde solicitării de conexiune printr-o primitivă de tip 'A-Associate.res', cuprinzând detalii despre diferite aspecte ale conexiunii la nivel **Aplicație**.
- Informația generată prin această primitivă va parcurge toată ierarhia sistemului apelat (se generează primitivele 'P-Connect.res', 'S-Connect.res', apoi se transmite informația ca date prin intermediul conexiunii la nivel **Transport**), ajungând în final la sistemul inițiator, fiecare strat al sistemului confirmând succesul conectării la acel nivel (primitivele 'S-Connect.con', 'P-Connect.con' și 'A-Associate.con').

Transmiterea datelor este realizată în mod similar. Programul client va genera o primitivă 'A-Data.req', și o va trimite împreună cu datele către stratul **Aplicație**. Acesta va adăuga propriul antet și va genera către stratul **Prezentare** o primitivă 'P-Data.req', trecându-i și unitățile de date. Acest proces de formare a propriilor unități de date prin adăugare de antete proprii va continua la nivelul fiecărui strat, până la stratul **Legăturii de date**, care va forma fluxul de biți către nivelul **Fizic**. Acest flux de biți este receptat prin intermediul rețelei de către stratul **Fizic** al sistemului pereche și va ajunge la stratul **Legăturii de date** al respectivului sistem. Aici, la recunoașterea sfârșitului fiecărui cadru (unitatea de date LD-PDU), se va elimina antetul propriu stratului și se va trece unitatea de date către stratul superior, inclusă într-o primitivă de tip 'N-Data.ind'. Procesul va continua identic la nivelul fiecărui strat până la programul client ce rulează pe acel sistem. Dacă datele au ajuns cu bine, procesul server va genera către procesul client o informație de achitare (*acknowledgment*), informație ce poate fi încapsulată împreună cu datele cerute. Informația de achitare va parcurge în aceeași manieră arhitectura în sens invers, ajungând să fie cunoscută de procesul inițiator, care va lua cunoștință de succesul transmiterii, putând continua procesul de transmitere date.

După sfârșitul cu succes al schimbului de date, conexiunea poate fi eliberată, faza **eliberării conexiunii** fiind similară cu cea a stabilirii ei, cu deosebirea că o conexiune poate fi eliberată de oricare din părți, nu neapărat de cea inițiatoare.

Conceptul de bază al comunicării sistemelor deschise: protocolul

Conform definiției standardului ISO privind interconectarea sistemelor deschise și a definirii modelului de referință:

Protocolul aferent stratului (N) reprezintă setul de reguli sintactice și semantice ce determină schimbul de informație între entitățile stratului (N), în așa fel încât funcțiile aferente acelui strat să fie realizate.

Regulile sintactice determină formatul mesajelor interschimbate (harta biților), în mod uzual fiecare mesaj transportând informație de control sau date procesabile.

Regulile semantice determină conținutul procedurilor ce guvernează activitatea acelui strat (transfer de date, gestionare conexiuni, control eroare, etc.), precum și secvența corectă (ca tipuri de mesaje și durate temporale) a dialogului între părțile comunicante.

Protocolul poate fi caracterizat prin parametri calitativi și cantitativi.

Parametri cantitativi

Se exprimă în biți, unități temporale, număr de mesaje, și se referă la: lungimea unităților de date, dimensiuni de mesaje, cadre, pachete, durate temporale pentru fazele de conectare, transfer date, deconectare, rate de erori, etc.; toate aceste aspecte fac parte din testarea performanței protocoalelor.

Parametri calitativi

Se referă la comportarea corectă, lipsită de erori logice sau funcționale, fiind apanajul antivităților de analiză a modelării sau a testării conformanței între model și implementare.

Protocolul trebuie încadrat contextual, prin studiul relațiilor cu mediul înconjurător, respectiv cu straturile adiacente. De aceea descrierea unui protocol de nivel (N) trebuie completat cu prezentarea serviciilor furnizate stratului superior, al celor solicitate stratului adiacent inferior, parametrilor punctelor de acces la servicii (calitatea interfețelor între straturi). Astfel de probleme se pun în procesul testării, când un testor va trebui să înlocuiască un strat adiacent (inferior sau superior), sau amândouă, și să-l simuleze în mod realist.

Concluzionând această prezentare, se poate afirma că modelul abstract ISO/OSI are o mare importanță teoretică și didactică, impunându-se ca un suport teoretic pentru proiectarea 'ordonată' a arhitecturilor de rețele, sau reprezentând un schelet pentru procesul de predare a disciplinei. Este și motivul pentru care s-a făcut această prezentare. Ca implementare însă, rețeaua OSI este puțin folosită (ea este descrisă pe scurt în capitolul 8).

2.2. Modelul de referință TCP/IP

Modelul de referință **OSI** s-a constituit ca o necesitate, în primul rând pentru a permite ușurarea muncii de interconectare a unei mari diversități de echipamente (sisteme de calcul, terminale), apoi pentru a permite interconectarea rețelelor, indiferent de mediul de tranmisie folosit, și pentru a se putea realiza aplicații evoluate, accesibile unei mase largi de utilizatori (sisteme multimedia distribuite, rețele cu valoare adaugată).

La momentul elaborării standardelor pentru modelul de referință OSI, existau mai multe modele arhitecturale, prezentând și puncte comune, dar mai ales deosebiri, făcând deci foarte greu de realizat o conectare facilă sau unitară în cadrul

unei metarețele, a mai multor echipamente din familii diferite.

Dintre aceste modele, cele mai raspândite sunt:

- arhitectura **DNA**, elaborată de firma **Digital**;
- arhitectura **SNA**, elaborată de **IBM**;
- modelul **DPA**, bazat pe **ARPANET** (bine cunoscuta rețea universitară americană) și **DoD Data Network** (rețeaua militară a Departamentului Apărării). Modelul este mai cunoscut sub numele **TCP/IP**, după numele protocoalelor 'de mijloc' din ierarhie.

Structurile arhitecturale ale acestor modele sunt prezentate prin comparație cu modelul OSI, prin intermediul tabelului următor (tabel 2.2).

Model OSI	Model DPA	Arhitectura SNA	Arhitectura DNA
Aplicație	Procese aplicație (RJE, FTP, NFS, Telnet, etc.)	Funcții Gestionare servicii	Utilizator + Aplicații de retea
Prezentare			
Sesiune		Control flux date	Servicii rețea
Transport	TCP, UDP	Control transmisie	Transport + dirijare
Rețea	Internet IP+ICMP	Control cale	
Leg. Date	Network access LLC	Leg. date SDLC	Leg. date DDCMP
Fizic	Fizic	Fizic	Fizic

Tabel 2.2 Prezentarea comparativă a arhitecturilor OSI, DPA, SNA și DNA

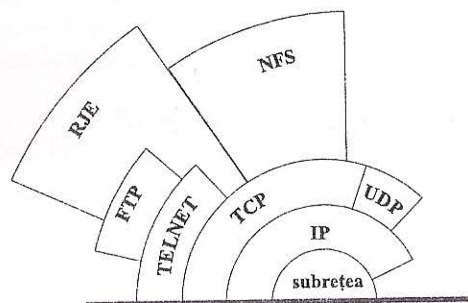


Figura 2.7 Modelul ierarhic ARPA

Modelul ierarhic DPA este prezentat în figura 2.7. El se bazează pe noțiunea de **nivele**, între care schimbul de informații nu este doar între nivelele adiacente, ci este direct între oricare nivele; de asemenea arhitectura DPA oferă servicii cu precădere neorientate pe conexiune, spre deosebire de filozofia OSI. Avantajele se realizează la protocoalele de la nivelele joase, prin viteza sporită pentru rețelele fiabile (de aici și pretabilitatea arhitecturilor de rețele locale pentru folosirea unor componente ale acestui model). Filozofia modelului este mult mai puțin elaborată decât a celei OSI, dezvoltarea ei s-a făcut uneori dezordonat, dar practic ea a funcționat, și asta a adus succesul și larga răspândire, fiind de fapt standardul 'de facto'.

Tabelul 2.2 prezintă de asemenea comparația între modelul OSI și modelul DPA. Tabelul prezintă sugestiv diferențele în arhitecturile celor trei modele anterioare modelului OSI, inexistența unor standarde comune facând dificilă activitatea de interconectare a echipamentelor din familii diferite.

Arhitectura DPA a avut un puternic impact asupra dezvoltării arhitecturii altor rețele (a rețelelor locale de exemplu), a interconectării lor, protocoalele TCP/IP fiind folosite cu precădere pentru realizarea interconectării (*internetworking*), impunându-se practic ca standarde 'de facto'. Este și motivul pentru care în capitolul 8 se face o prezentare detaliată a componentelor rețelei TCP/IP.

2.3. Arhitectura generală a rețelelor locale și modelul de referință IEEE 802

2.3.1. Considerații generale

Marea diversitate a tipurilor de rețele locale, existente încă dinaintea standardelor ISO/OSI, a dus la dezvoltarea unor produse program specifice, care implementează protocoale specifice. Totuși, în ultimii ani s-a observat o oarecare tendință de aliniere a arhitecturii rețelelor locale la modelul de referință ISO/OSI, apărând grupuri de norme ce iau în considerare recomandările ISO/OSI. Analiza arhitecturilor LAN demonstrează o oarecare asemănare arhitecturală între ele la nivelele superioare, deși funcțiile unor straturi sunt îndeplinite de componente ale propriului sistem de operare; diferențele sunt cu precădere la nivelele aferente comunicației, ce îndeplinesc funcții asociate straturilor OSI **Legătură de date** și **Fizic**.

O posibilă ierarhie generală a unui model pentru rețelele locale este ilustrată de figura 2.8, care pune în evidență:

- existența unui nivel arhitectural **Fizic**, ce cuprinde toate aspectele legate de comunicația pe un mediu fizic existent;
- existența a două subniveluri ce implementează funcții asociate **Legăturii de date**, unul dependent de modul de acces la mediul de

transmisie, şi anume subnivelul **controlul accesului la mediu** MAC (*Medium Access Control*) şi un subnivel ce face interfaţarea cu protocoalele de la nivelele arhitecturale superioare, numit **controlul legăturii logice LLC** (*Logical Link Control*). Interfaţarea cu nivelele superioare se face prin intermediul punctelor de acces la serviciu.

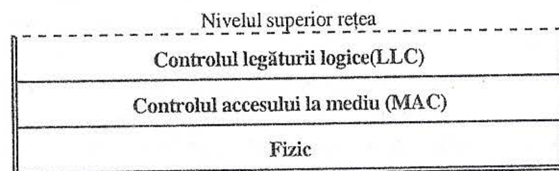


Figura 2.8 **Arhitectura simplificată a unei reţele locale**

2.3.2. Definirea noţiunii de reţea locală de calculatoare

O posibilă definiţie a **reţelelor locale** (în continuare se foloseşte şi abreviativul **LAN** (*Local Area Networks*)), care să puncteze aspectele sale particulare majore, ar fi următoarea:

O reţea locală de calculatoare *este un sistem care permite unor aparate independente să comunice între ele, în cadrul unui spaţiu limitat, utilizând pentru comunicaţie canale fizice de viteză ridicată şi sigure.*

Definiţia conţine câţiva termeni ce pot fi explicitaţi pe scurt astfel:

- **aparate independente**

  Semnifică în contextul unui LAN, orice aparat (sistem) care se conectează în reţea, schimbând date cu celelalte sisteme din reţea. Dacă la începuturile erei reţelelor, acestea erau sisteme de tip master-slave, aparatele conectate nefiind egale, în cadrul unui LAN toate devin de egală importanţă, funcţionarea reţelei nedepinzând major de funcţionarea vreunuia.

- **zonă limitată**

  Indică faptul că resursele unui LAN sunt situate apropiat, în cadrul unei clădiri sau grup de clădiri apropiate geografic, la distanţe ce nu depăşesc câţiva kilometri. Reţelele LAN se utilizează îndeosebi în unităţi industriale, de învăţământ, birouri ale companiilor, etc.

- **canal de comunicaţie de viteză ridicată şi sigur**

  Semnifică următoarele: modul de funcţionare al unei reţele locale, de tip rafală (*burst*), coroborat cu dorinţa utilizatorilor de a avea asigurate (atunci când utilizează reţeaua) condiţii de lucru de înaltă calitate, implică folosirea de medii de transmisie de viteză înaltă, ce vor fi folosite în timp de toţi utilizatorii; aceasta implică că un sistem din reţea care transmite (emite) la un moment dat, este proprietarul întregii capacităţi de transmisie a reţelei. Celelalte sisteme din reţea vor fi în acest timp pasive (receptori), deci, în general, pentru LAN tehnica de transmisie este de tip difuzare (*broadcast*). Mediile de transmisie folosite sunt de bună calitate, datorate şi posibilităţii de instalare şi întreţinere în zonă limitată, proprie LAN. Rata de erori datorată comunicaţiei este deci mică, având un efect pozitiv şi asupra complexităţii protocoalelor (sistemului de programe), care nu trebuie să prevadă algoritmi complicaţi pentru detecţia şi corectarea erorilor.

Atributele principale prezentate de o reţea locală sunt:

- *flexibilitatea*, dovedită de posibilitatea utilizării LAN în aplicaţii diverse, datorită faptului că un LAN poate integra împreună diverse tipuri de echipamente;
- *siguranţa*, dată de o tehnologie bine pusă la punct şi închegată;
- *modularitatea*, ce oferă posibilitatea integrării într-un LAN de echipamente de diverse provenienţe; ele se conectează (interfaţează) la un LAN prin dispozitive (interfeţe) ieftine, realizate uzual sub forma unor plăci de interfaţare **NIC** (*Network Interface Card*), cuplate la magistralele interne ale staţiilor de lucru ataşate, care rulează acum suplimentar un sistem de programe specific lucrului în reţea;
- *expandabilitatea*, sau posibilitatea de a creşte gradat complexitatea reţelei, după dorinţa utilizatorilor;
- *administrarea* şi *gestionarea* relativ simplă (de obicei o autoritate administrativă) şi mult bazată pe accesul de la distanţă, dat de posibilitatea utilizării unor programe de gestionare;
- *economicitatea*, sau posibilitatea de a folosi reţeaua într-un mod eficient şi ieftin;
- *interconectarea* mai multor reţele locale este preferabilă dezvoltării unei singure reţele, având complexitate crescută.

Topologiile, sau forma legăturilor de comunicaţie dintre staţiile reţelei, oferite de reţelele locale sunt diverse, cele mai folosite fiind cele ilustrate de figura 2.9.

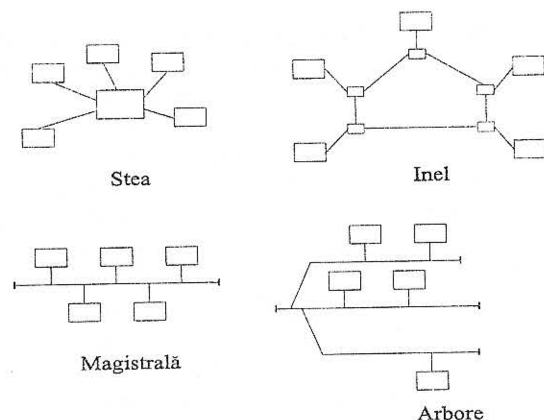


Figura 2.9 Topologii de rețele locale

Rețelele liniare, sau cu topologie de **magistrală** (*bus*), se bazează pe existența unui trunchi principal, la care sunt conectate stațiile. Conectarea se face prin intermediul unor intrefețe, numite **unități de atașare**, în terminologia 802.3 (**MAU** - *Medium Attachment Unit*), sau transceiver (terminologia Ethernet). Prin intermediul semnalelor acestor interfețe, fiecare stație poate 'asculta' tot ce 'se întâmplă' pe magistrală, sau poate recepționa și transmite informație. Deoarece nu se admit transmisiuni simultane în mediu, algoritmul de gestionare a accesului la mediu este mai complicat și relativ puțin eficace. Rețelele de acest tip sunt rețele pasive, în sensul că o stație nu poate influența decisiv comportarea celorlalte sau căderea unei stații nu determină căderea întregii rețele. Rețelele cu această topologie, având exponent principal rețeaua Ethernet, se bucură de avantaje precum: cost redus, expandabilitate, o largă difuzare și experiență, dar ele se dovedesc depășite pentru tehnologia rețelelor rapide, care se dezvoltă în această perioadă.

Rețeaua cu topologie de **arbore** (*tree*) este un caz mai complex al rețelei liniare; fiecare ramură a arborelui este de fapt o rețea liniară. Ramurile sunt conectate între ele prin intermediul unor divizoare (*splitter*), iar în topologie există o stație cu un rol mai complex, stația **rădăcină**. Este o topologie caracteristică în special rețelelor analogice, sau cu transmisie în bandă largă.

Retețele cu topologie **inelară** (*ring*) sunt bazate pe legături punct-la-punct între stații, legături care se închid într-un inel. Accesul stațiilor la mediu se face prin intermediul unor interfețe, numite și **repetoare**; informația circulă în inel într-un singur sens, fiecare repetor fiind dotat cu o linie de intrare, una de ieșire și linii de transmisie/recepție către stația pe care o deservește. Căderea unui repetor întrerupe inelul (nu sunt rețele pasive); de aceea practic se folosește o topologie de inel configurat ca stea, prevăzându-se relee bypass pentru izolarea stației de inel, în caz de defect (cazul rețelei Token Ring), sau se folosesc inele secundare, de rezervă (de salvare).

Rețeaua bazată pe o topologie de **stea** (*star*) are ca principală caracteristică faptul că stațiile sunt cuplate prin legături punct-la-punct către un element central, numit **comutator** (*switch*) **central**. Toată comunicația între stațiile rețelei se realizează prin intermediul comutatorului, controlul rețelei este asigurat în principal tot de comutator, care devine un element sensibil al rețelei. Fiabilitatea care se poate asigura actualmente echipamentelor, viteza mare de transmisie ce se poate obține pe legăturile dintre stații și comutator, legături operând în mod duplex, fac ca o mare parte a rețelelor de mare viteză să adopte această topologie.

2.3.3. Modelul structurat al protocoalelor ce definesc o rețea locală

De remarcat că dacă inițial protocoalele de nivel ierarhic scăzut, asociate rețelelor LAN, se refereau explicit și la problemele practice de cablare, o viziune modernă decelează cele două probleme. Astfel putem considera că, pentru a caracteriza complet o rețea locală de un anumit tip, avem de-a face cu protocoalele standard asociate (aferente nivelelor fizic, controlului accesului la mediu și interfațării cu nivelele superioare), dar și cu cele asociate cablării structurate a rețelei (vezi figura 2.10, care ilustrează principalele standarde aferente fiecărui aspect).

Modul de prezentare a fiecărui tip de LAN va fi conform acestei abordări.

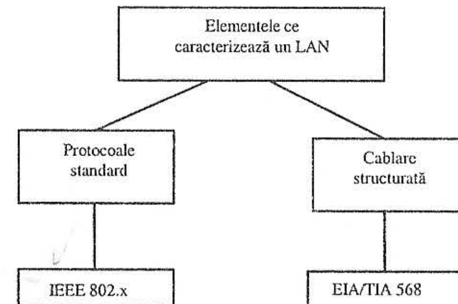


Figura 2.10 Tipuri de protocoale standard

2.3.4. Standardul IEEE 802, model de referință pentru rețelele locale

2.3.4.1. Prezentare generală

Odată cu răspândirea rețelelor locale s-a manifestat firesc și varietatea lor (rețele **Ethernet, Arcnet, Token-ring**, etc.), lucru și cu implicații negative,

ceea ce a făcut ca organizaţia IEEE să constituie (la început) şase comitete pentru studiul problemei standardizării în domeniul **LAN**. Astfel a fost demarat proiectul **IEEE 802**, care a avut iniţial următoarele comitete de standardizare:

- 802.1 comitet pentru problemele legate de interfaţa cu nivelele ierarhice superioare şi gestionarea reţelei locale (*Higher Layer and Management*);
- 802.2 pentru definirea controlului legăturii logice **LLC** (*Logical Link Control*);
- 802.3 pentru elaborarea standardului **CSMA/CD** (*Carrier Sense, Multiple Access, Collision Detection*);
- 802.4 pentru elaborarea standardului reţelelor de tip Token Bus;
- 802.5 pentru elaborarea standardului reţelelor de tip Token Ring;
- 802.6 pentru elaborarea standardului reţelelor metropolitane de tip **DQDB** (*Distributed Queue, Dual Bus*).

Acestor comitete de lucru stabilite iniţial, li s-au adăugat în timp altele, numite şi grupuri consultative, sau grupuri de lucru (*working group*), precum:

- 802.7 grupul pentru avizarea problemelor reţelelor de bandă largă (*broadband technical advisory group*);
- 802.8 grupul de avizare pentru reţelele optice (*fiber optic technical advisory group*);
- 802.9 grupul pentru reţele cu servicii integrate (cu integrarea datelor şi a vocii);
- 802.10 grupul de lucru în domeniul securităţii în reţele;
- 802.11 comitetul de lucru pentru reţelele nebazate pe fir (*Wireless Networks*);
- 802.12 pentru reţele de mare viteză HSLAN, de tip 100baseVG;
- 802.13 pentru reţele HSLAN de tip 100baseX.;
- 802.14 grupul de lucru pentru standardizarea transportului datelor în reţele bazate pe cablu TV tradiţional (CATV), cu posibilităţi de transport trafic multimedia.

2.3.4.2. Componentele de bază ale standardului 802

IEEE 802.1 Higher Layer and Management

IEEE 802.1 constituie standardul ce conţine specificaţiile generale ale proiectului 802. Este constituit din mai multe părţi, dintre care cele mai importante sunt:

- 802.1 partea A, numită 'Consideraţii generale şi Arhitectură' (*Overview and Architecture*);
- 802.1 partea B, numită 'Adresarea pentru interconectare şi Gestionarea reţelei' (*Addressing Internetworking and Network Management*);
- 802.1 partea D, cu referire la interconectarea reţelelor locale.

Primele două părţi sunt prezentate în continuare, iar partea D va fi dezvoltată pe larg în capitolul 6, referitor la interconectarea reţelelor locale.

Proiectul IEEE 802 introduce idea ca reţelele locale şi cele metropolitane să furnizeze o interfaţă unificată către nivelele superioare, mai precis către nivelul reţea. Această interfaţă are rolul de a acoperi diferenţele tehnologiei de transmisie folosită de fiecare reţea în parte. Pentru a realiza mai simplu acest deziderat, proiectul IEEE 802 divide nivelul legăturii de date, aşa cum este el descris de modelul OSI, în două subnivele, care preiau fiecare o serie de funcţii specifice nivelului legăturii de date (şi nu numai), şi anume:

- subnivelul controlului legăturii logice **LLC** (*Logical Link Control*), comun tuturor reţelelor 802;
- subnivelul controlului accesului la mediu **MAC** (*Medium Access Control*), particular fiecărei reţele 802, şi depinzând de nivelul fizic asociat.

LLC constituie interfaţa unificată către nivelele arhitecturale superioare, fiind descrisă de standardul 802.2. Figura 2.11 ilustrează această filozofie.

Diferitele tipuri de acces la mediu şi controlul lor fac obiectul standardelor specifice, să le notam **802.x**, ele fiind enumerate mai sus.

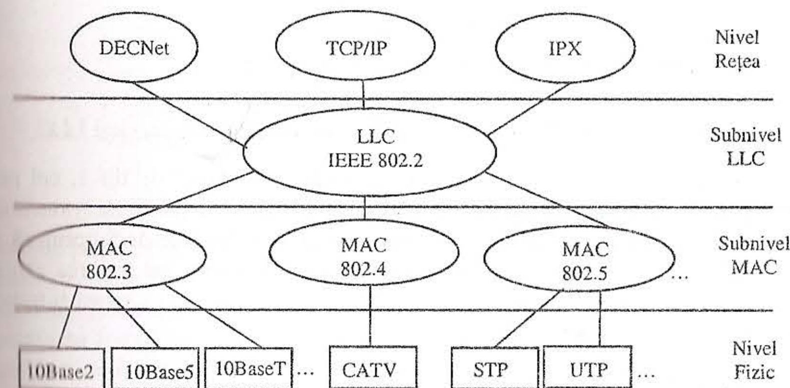


Figura 2.11 Structura arhitecturală IEEE 802

Controlul legăturii logice (LLC)

IEEE 802.2 este standardul pentru subnivelul controlului legăturii logice, LLC. Acesta descrie atât serviciile furnizate de LLC, cât şi protocolul care le implementează.

Serviciile LLC

LLC oferă nivelului OSI **Reţea** trei tipuri de servicii, structurate în ordinea:

- LLC Type 1, serviciu nebazat pe conexiune şi fără achitare (*Unacknowledged Connectionless Service*). În această modalitate de lucru, transferul de date este nebazat pe stabilirea iniţială a unei conexiuni, şi de asemanea nu foloseşte achitarea. Se distinge prin viteză, deci este de preferat pentru reţelele rapide şi fiabile, cum este cazul majorităţii reţelelor locale.
- LLC Type 2, serviciu orientat pe conexiune (*Connection Oriented Service*); se caracterizează prin stabilirea unei conexiuni între entităţile corespondente, înaintea transmiterii datelor. Datele transmise sunt achitate, pentru a se asigura un control riguros al erorii.
- LLC Type 3, serviciu neorientat pe conexiune, dar cu achitare (*Semireliable Service*), un serviciu hibrid, folosit mai ales în reţelele locale ce operează în mediu industrial, deci condiţiile oferite de nivelul fizic sunt mai precare şi incidenţa erorilor mai ridicată.

O anumită reţea LAN poate realiza unul sau mai multe tipuri de servicii, depinzând de condiţiile concrete de folosire. O clasificare a lor ar fi:

- reţele de clasa I, realizând numai servicii LLC de tip 1;
- reteţe de clasa II, realizând servicii de tip 1 si 2;
- reţele de clasa III, pentru servicii LLC tip 1 si 3;
- reţele de clasa IV, realizând toate cele trei tipuri de servicii LLC.

Se observă că toate reţelele LAN folosesc serviciul de tip 1, cel mai simplu posibil; este normal deoarece reţelele LAN folosesc medii de transmisie de viteză ridicată şi de calitate, cu rată mică de eroare. Nu este deci optim să se folosească la acest nivel arhitectural protocoale complexe, cu tratarea erorii, care încetinesc transmisia, căci erorile reziduale ce se pot ivi vor putea fi tratate şi corectate la nivele superioare.

Protocolul LLC

Subnivelul LLC, având ca scop furnizarea (către nivelele superioare ale ierarhiei de protocoale) a unei interfeţe unificate, independente de ceea ce se găseşte dedesubtul său, a fost proiectat într-un mod similar protocoalelor

folosite de reţelele WAN. Pentru că modelul OSI acceptă la acest nivel protocolul HDLC (vezi capitolul 7), se poate spune că protocolul LLC constituie o adaptare a protocolului HDLC pentru reţelele locale.

Diferenţa principală între LLC şi HDLC este dată de modul de interacţiune cu nivelul fizic; dacă HDLC, protocol al nivelului OSI legătură de date (*data link layer*), interacţionează direct cu nivelul fizic, trebuind să îndeplinească funcţiile de asigurare a delimitării cadrelor şi a transparenţei câmpului de date (folosirea tehnicii de tip *bit stuffing*), subnivelul LLC are dedesubt subnivelul accesului la mediu MAC, care soluţionează aceste probleme. Cu toate aceste simplificări, câmpul de control al unităţilor de date ale protocolului LLC este acelaşi cu al protocolului HDLC. De asemenea LLC poate opera atât în varianta nebazată pe conexiune, cât şi în varianta conexă, deşi marea majoritate a implementărilor folosesc doar prima.

Unitatea de date **LLC-PDU** (*Protocol Data Unit*) a protocolului LLC este ilustrată de figura 2.12, fiind similară cu a protocolului HDLC.

Adresa destinaţie	Adresa sursă	Control	Informaţie
1 octet	1 octet	1 (2) octeţi	m octeţi

Figura 2.12 Formatul unităţii de date LLC

Câmpul **Control** identifică, în funcţie de valoarea sa, trei tipuri de unităţi de date LLC:

- **I-PDU**, unităţi de date de informaţie, pentru transmiterea efectivă a datelor utilizator;
- **S-PDU**, unităţi de date supervizor, menite a transporta informaţiile de control ale protocolului;
- **U-PDU**, unităţi de date fără numerotare (*unnumbered*), menite a transporta date necesare anumitor iniţializări sau pentru diagnosticare (date de test).

Deoarece o aceeaşi reţea locală poate prevedea (suporta) protocoale diferite pentru nivelele superioare (Decnet, TCP/IP, IPX/SPX), protocolul LLC, pentru a oferi o tratare standard, prevede un punct de acces la servicii **SAP** (*Service Access Point*) particular, numit LLC-SAP. El este folosit pentru adresarea folosită de LLC (deci îl întâlnim în câmpul de adrese al LLC-PDU), pentru a se distinge care dintre protocoalele de nivel superior (de nivel reţea mai precis) este în uz. Astfel, pe baza acestui SAP, situat la interfaţa către nivelul reţea, se poate face alegerea tipului de protocol de nivel reţea către care se îndreaptă serviciile oferite de LLC. Adresarea LLC foloseşte un octet, şi valorile posibile ale octetului codifică protocoalele folosite. Între biţii octetului

de adresă, cei mai puțin semnificativi doi biți au o semnificație clară, și anume:

- primul bit, cel mai puțin semnificativ, se numește **I/G** și semnifică tipul de adresă (are valoarea 0 pentru adresă individuală și valoarea 1 pentru adresă de grup);
- al doilea bit, numit **U**, semnifică dacă adresa este definită de administrator (valoare U=0), sau este asignată de IEEE, este universală (valoarea U=1).

Între aceste adrese, unele sunt particulare, precum adresa 0FFH, pentru difuzare (*broadcast*), sau adresa 00, pentru nivelul de legătură de date însuși, respectiv adresa 06 pentru protocolul IP.

O altă valoare particulară pentru câmpul LLC-SAP este valoarea 0AAH, care identifică protocolul de acces la subrețea **SNAP** (*SubNetwork Access Protocol*), folosit pentru ca pachetele de la nivelul rețea al protocoalelor nerecunoscute de ISO (neavând deci cod propriu LLC-SAP), să poată fi transportate către nivelul MAC al rețelei.

Astfel, când nivelul LLC primește un pachet de la nivelul inferior spre exemplu, analizează LLC-DSAP, și dacă acest câmp are valoare diferită de 0AAH, poate selecta imediat nivelul rețea căruia să-i paseze pachetul, iar dacă găsește codul 0AAH (cazul unui SNAP-PDU), decide cărui nivel trei să predea pachetul, pe baza câmpului din SNAP-PDU care identifică protocolul.

Subnivelul de control al accesului la mediu MAC

Subnivelul **MAC** (*Medium Access Control*), este specific fiecărui tip de LAN, și are ca principală funcție aceea de gestionare a partajării mediului de transmisie între sistemele acelei rețele (*medium sharing*). Există o diversitate de metode de acces la mediu, bazate pe principii diverse, precum: accesul prin interogare (*round-robin*), prin pasarea jetonului (*token passing*), prin rezolvarea conflictului (*contention based*), prin rezervare, etc. Importanța substratului MAC ca și componentă a protocoalelor de tip legătură de date, este sporită de modul de operare cu difuzare (*broadcast*), specific rețelelor locale. În acest mod de lucru, fiecare stație a rețelei are acces la toate cadrele care circulă în rețea, indiferent care este emițătorul.

Transmiterea datelor prin difuzare face necesar ca un singur canal de transmisie să fie împărțit între toate sistemele rețelei, și ridică cel puțin două probleme majore:

- la *transmisie*, să se verifice inițial că mediul (canalul de transmisie) este liber, apoi să se transmită; oricum posibilitatea accesului multiplu dă naștere la conflicte, a căror rezolvare cade în sarcina MAC; el decide, după un algoritm propriu, care dintre stațiile care solicită canalul îl vor dobândi;
- la *recepție*, fiecare stație să determine dacă îi este destinat mesajul, și

cine este emițătorul acelui mesaj.

Această ultimă problemă implică existența adresării la nivel MAC, deci în câmpurile unităților de date ale protocolului MAC (MAC-PDUs), vor trebui să existe câmpuri pentru adresele stațiilor emițătoare (numită generic MAC-SSAP) și receptoare (MAC-DSAP), ale fiecărui mesaj 'pus' în mediul de transmisie. Câmpul de tip 'adresă destinație' poate identifica una din situațiile:

- transmisie stație-stație (punct la punct), când câmpul DSAP, identifică o singură stație ;
- transmisie punct-multipunct, când se identifică un grup de stații destinație;
- transmisie cu difuzare efectivă, când adresa de destinație identifică toate stațiile din rețea.

De remarcat că noțiunea de difuzare are acoperire fizică (la nivel electric) în cadrul rețelelor de tip magistrală (*bus*), pe când la rețelele bazate pe inel (unde legătura este de fapt punct la punct între două stații vecine), difuzarea este o noțiune logică.

Unitățile de date ale nivelului MAC

Dacă unitățile de date ale protocolului LLC sunt comune fiecărui tip de LAN, pentru unitățile de date ale nivelului MAC situația este inversă, în sensul că fiecare tip de LAN are propriile formate pentru unitățile de date ale protocolului MAC specific. Totuși se pot pune în evidență, bazându-ne și pe elementele discutate mai sus, câteva câmpuri obligatorii (chiar dacă de structuri diferite). O parte comună a oricărui PDU cuprinde câmpurile ilustrate mai jos:

DSAP	SSAP	Info	FCS

Câmpurile **DSAP** si **SSAP** reprezintă adresele destinație și sursă și vor fi analizate mai jos.

Câmpul **Info** conține datele propriu-zise, care sunt de fapt datele provenite de la stratul superior, deci conțin pachetul LLC-PDU (figura 2.13 ilustrează aceasta).

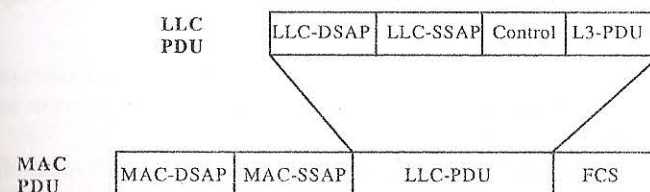


Figura 2.13 Structura generală a cadrului MAC

Câmpul **FCS** (*Frame Control Sequence*) este un câmp pentru controlul erorilor de transmisie şi este un câmp de 32 de biţi pentru protocoalele MAC 802; secvenţa de control este realizată prin folosirea polinomului generator aferent codului ciclic redundant **CRC** (*Cyclic Redundancy Check*).

Metoda de control a erorii bazată pe codul polinomial CRC implică considerarea şirurilor de biţi ca reprezentări de polinoame cu coeficienţii 0 sau 1. În acest mod biţii care formează câmpul (câmpurile) verificate constituie coeficienţii polinomului deîmpărţit. Secvenţa de control **FCS** este calculată la emisia cadrului şi reprezintă restul împărţirii polinomului deîmpărţit considerat, cu un polinom împărţitor, care este un polinom standard. La recepţie se reface calculul şi în caz de neconcordanţă se semnalează eroare. Există o serie de polinoame standard de grad 16 (CRC-16 sau CRC-CCITT), dar standardul 802 consideră un polinom generator al secvenţei de control de grad 32; el are structura:

$$CRC\text{-}32 = X^{32}+X^{26}+X^{25}+X^{22}+X^{16}+X^{12}+X^{11}+X^{10}+X^{8}+X^{7}+X^{5}+X^{4}+X^{2}+X+1$$

Metoda calculului CRC s-a dovedit facil de implementat şi dă rezultate bune pentru diverse tipuri de erori ce pot afecta un şir de biţi.

Adresarea MAC

Adresele **MAC 802** sunt numere scrise uzual în hexazecimal, cu o lungime de şase octeţi, stabilite în mod univoc la nivel mondial de către oficiul de standarde al IEEE. Ele sunt înscrise în memoria ROM a plăcii de reţea, în momentul producerii. Pot fi ulterior modificate software prin scrierea într-un buffer a noii adrese. Structura unei adrese MAC este următoarea:

- cei mai semnificativi trei octeţi indică lotul de adrese asignate constructorului de plăci de reţea sau organizaţiei care a proiectat acel tip de reţea; poartă numele de **OUI** (*Organization Unique Identifier*). Câteva valori: **Intel** va înscrie combinaţia 00AA00, **Cisco** are codul 00000C, **Novell** are 0000D8, iar **Xerox** are 0000AA;
- ultimii trei octeţi sunt completaţi de fabricant, fiind de fapt un număr de ordine.

Dintre biţii câmpului de adresă, primii doi transmişi au o importanţă specială, fiind numiţi:

- bit **I/G** (*Individual/Grup*) şi semnificând dacă adresa destinaţie este a unei singure staţii (individuală) sau este adresă de grup (în acest caz bitul este setat 1);
- bit **U/L** (*Universal/Local*), după cum adresa a fost asignată oficial de către IEEE (este universală), sau a fost asignată local (caz în care bitul are valoarea 1).

Pentru că existau neconcordanţe între locul acestor doi biţi în cadrul fluxului de biţi transmişi către mediul fizic (protocoalele 802.5 şi FDDI transmit întâi biţii cei mai semnificativi ai unui octet, iar protocoalele 802.3 şi 802.4 transmit întâi biţii cei mai puţin semnificativi), organizaţia IEEE a stabilit că adresele trebuie scrise şi prezentate extern într-un format canonic, independent de tipul reţelei locale, format prezentat de protocolul 802.3.

Şi adresele MAC pot fi atât pentru legături de tip punct-la-punct, cât şi punct-multipunct sau broadcast.

În capitolele următoare se prezintă, separat, principalele elemente ale fiecărui standard 802.x, precum şi cercetările actuale pentru îmbunătăţirea performanţelor fiecărui tip de LAN descris de aceste standarde.

3. MEDIILE DE TRANSMISIE ŞI CABLAREA STRUCTURATĂ

Capitolul are un caracter mai practic, prezentând în prima sa parte caracteristicile fizice principale ale mediilor de comunicaţie utilizate de reţelele locale de calculatoare, iar în a doua sa parte făcând prezentarea standardului **EIA 568A** referitor la cablarea elementelor de telecomunicaţii în clădirile de dimensiuni medii.

3.1. Mediile de transmisie

Multitudinea reţelelor de calculatoare, diversele moduri de interconectare ale sistemelor în cadrul reţelelor şi ale reţelelor între ele, se bazează şi pe o varietate de medii de transmisie, utilizate specific în decursul timpului. Mediile de transmisie trebuie să asigure performanţe superioare în ceea ce priveşte viteza de comunicare, rata de erori, costul, necesarul de amplificare.

Dintr-un punct de vedere foarte general, mediile de transmisie se pot grupa în două mari categorii:

- medii de transmisie bazate pe fir (*hardwire*), fie **electrice**, precum cablul torsadat (cu perechi de fire răsucite), cablul coaxial, fie **optice**, respectiv cablul cu fibră optică;
- medii de transmisie nebazate pe fir, 'fără fir' (*wireless*), precum razele infraroşii, undele radio, microundele.

3.1.1. Mediile de transmisie bazate pe fir

3.1.1.1. Mediile de transmisie electrice

Mediul de transmisie electric, cablul electric, pentru a oferi bune performanţe în transmisia de date, trebuie să posede caracteristici electrice optime, deci să fie caracterizat prin rezistenţă, capacitate şi impedanţă reduse, dar şi caracteristici mecanice specifice, precum flexibilitate, rezistenţă la tracţiune, rezistenţă la temperatură.

Caracteristicile cablurilor electrice au fost continuu îmbunătăţite, astfel că s-a ajuns în decursul ultimului deceniu de la firul telefonic obişnuit, cu o bandă de trecere de 4kHz, la cabluri oferind bandă de sute de megahertzi, comparabile (în cazul **LAN**) cu performanţele cablului optic.

Caracteristicile cablurilor electrice, depind, pe lângă natura intrinsecă a materialului folosit, de alţi factori, precum: geometria secţiunii, numărul de conductori şi distanţa între ei, tipul de material izolator folosit, materialul pentru protecţia electrică.

Se definesc în continuare, pe scurt, principalii parametri electrici şi de altă natură, specifici cablurilor electrice.

Impedanţa

Impedanţa unui cablu electric este parametrul electric cel mai important, mai ales dacă cablul se foloseşte la frecvenţe înalte. Aceasta deoarece în transmisiile de date nu interesează doar valoarea impedanţei la o frecvenţă dată a semnalului electric, ci şi variaţia ei în funcţie de frecvenţă. Este foarte importantă stabilitatea impedanţei, astfel că certificarea unei valori pentru un cablu se face într-un domeniu de frecvenţe, de la 100kHz la sute de megahertzi. Cablurile folosite în transmisiile de date prezintă uzual impedanţe în domeniul 50-150Ω, dar uzual se folosesc cablurile la 100Ω.

Viteza de propagare

Viteza de propagare a semnalului electric printr-un cablu este un parametru foarte important, care stă la baza calculului vitezei de transmisie pe cablu. Viteza de propagare reprezintă un procent din viteza luminii, în cazul cablurilor electrice procentul este de 55-75%, deci se poate lua ca valoare medie valoarea procentuală de 66%, implicând o valoare a vitezei de propagare a semnalului electric prin cablul bazat pe conductor de cupru, de 200.000Km/s.

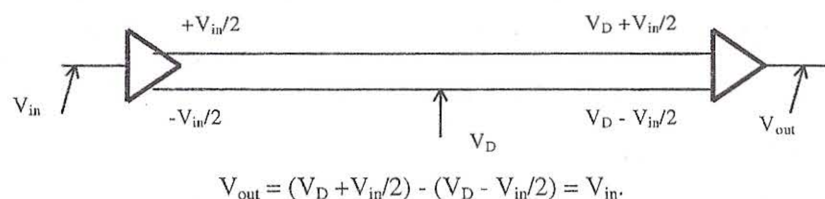
Atenuarea

Atenuarea sau *pierderea* suferită de semnal pe cablu (*loss*) este un parametru foarte important, de el depinzând comportarea la frecvenţe înalte a cablului. În general, pentru a lucra la frecvenţe mari, cablul trebuie să prezinte valori mici ale atenuării (atenuarea se exprimă în dB, deci pe scară logaritmică). Se poate considera o creştere liniară a atenuării în funcţie de lungimea cablului şi o creştere în funcţie de frecvenţă cu o rată proporţională cu rădăcina pătrată a frecvenţei.

Diafonia

Diafonia (*cross-talk*) este o măsură (în dB) a cât influenţează un cablu comportarea unui alt cablu aflat în vecinătate. Ea măsoară raportul dintre un semnal prezent pe un cablu şi semnalul indus de acesta pe un cablu pereche vecin. Este un parametru ce depinde şi el de frecvenţă, dar mai

puțin de lungimea cablului, pentru că ea crește pentru primii metri ai cablului, pentru ca apoi să rămână independentă de lungime.
Pentru limitarea efectului diafoniei se utilizează **ecranarea** cablurilor, prin folosirea unui înveliș protector metalic care se leagă la masă. Învelișul se realizează fie cu folie metalică, fie cu țesătură de fire metalice. Ecranarea se poate face la modul global, pentru întreg cablul, sau separat pentru fiecare fir conductor din cablu, iar în unele cazuri se folosesc ambele modalități.
Folosirea unei metode de transmisie echilibrate diferențiale (*balanced differential transmission*), va duce mai mult la scăderea influenței câmpului electric distorsionant. Figura 3.1 ilustrează modul de transmisie echilibrat, arătând că tensiunea de ieșire (de la capătul firului) repetă aproximativ tensiunea de 'intrare', și nu depinde de zgomotul indus de-a lungul cablului, zgomot notat cu V_D.



$$V_{out} = (V_D + V_{in}/2) - (V_D - V_{in}/2) = V_{in}.$$

Figura 3.1 Transmisia diferențială

Geometria secțiunii conductorului

Secțiunea conductorului se dă fie în milimetri, dar pe plan internațional se folosește unitatea de măsură **AWG** (*American Wire Gage*). Aceasta reprezintă o scală cu regresie geometrică, are valori între 0gage și 38gage, dar pentru transmisia de date cablurile folosite utilizează conductori ce prezintă secțiuni cuprinzând valori între 22AWG (cablu de tip 1 IBM) și 26AWG (cablul obișnuit folosit în telefonie).
Prin procesul instalării cablurilor este posibilă alterarea geometriei secțiunii, iar aceasta poate avea influențe negative asupra parametrilor semnalului; totuși această influență este minimă pentru cablurile folosite astăzi.

Siguranța în caz de incendiu

Cablurile electrice folosite în transmisiile de date trebuie să se supună normelor de siguranță în caz de incendiu, norme elaborate la nivel național. Se folosesc de obicei cabluri a căror structură și îmbrăcăminte exterioară le conferă proprietăți precum:
- întârzie propagarea flăcării (*flame retardant*);
- produc puțin fum în caz de incendiu (*low smoke fume*);
- nu emit la ardere gaze toxice (*zero Halogen*).

Pentru aplicații particulare se folosesc cabluri de tip *plenum*, rezistente la temperaturi înalte și nepropagând incendiul; ele sunt scumpe căci folosesc îmbrăcăminte externă din materiale compozite speciale.

3.1.1.1.1. Cablul torsadat (cu fire răsucite)

Cablul torsadat sau cu perechi de fire răsucite, numit și cablu **TP** (*Twisted Pair*) constituie mediul de transmisie bazat pe fir de cupru, tradițional folosit în telefonie. Perechea de fire răsucite constă din două fire metalice (din cupru) răsucite după un anumit pas (figura 3.2). Diametrul firului este uzual de 0,5mm, sau mai precis de 24AWG, iar pasul de răsucire depinde de cablu, mai precis de numărul de perechi de fire răsucite ce alcătuiesc cablul. O valoare uzuală pentru pasul de răsucire este de 1/6".



Figura 3.2 Perechea de fire răsucite

Răsucirea firelor este necesară pentru a reduce distorsiunile electromagnetice, prin faptul că un câmp electomagnetic extern va acționa în mod egal asupra celor două fire. Dacă pentru transmisia în fire se adoptă o metodă de transmisie diferențială, echilibrată, atunci efectul distorsionant al câmpului extern este aproape nul. Pentru un cablu cu mai multe perechi de fire răsucite, pașii de răsucire trebuie să fie diferiți pentru fiecare pereche, și ei se calculează în așa fel ca diafonia între perechi să devină minimă.
Cablul TP a fost folosit inițial în telefonia analogică și prevedea o bandă limitată de frecvență (4KHz). Astăzi, datorită progreselor în tehnologia de realizare a cablurilor TP, ele prevăd o bandă de frecvențe de sute de megahertzi, utilizându-se uzual pentru transmisii de date la 100Mbps. Cablurile actuale vor fi folosite la viteze de sute de Mbps, chiar în rețelele Gigabit, oferind pentru distanțe scurte de până la 100m, performanțe comparabile cu fibra optică. Viitorul oferă posibilitatea utilizării noilor categorii de cablu TP în rețelele cu conexiuni *full duplex* și bazate pe echipamente de comutare ultra-rapide.
După modul de realizare a ecranării cablurilor (prevederea unui înveliș protector legat la masă, cu efecte de reducere a diafoniei), există diverse versiuni de cablu TP:

- cablul ecranat **STP** (*Shielded Twisted Pair*), cablu care prevede atât ecran de protecție (înveliș protector) pentru fiecare pereche de fire, cât și o ecranare globală, pentru tot cablul;
- cablul **FTP** (*Foiled Twisted Pair*), care prevede doar un unic ecran

(folie de ecranare) global pentru întreg cablul;

- cablul **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*), care constituie varianta TP ne-ecranată.

Clasificarea cablurilor torsadate folosite în transmisiile de date

Din punctul de vedere al folosirii în transmisiile de date ale diverselor cabluri cu perechi de fire răsucite, diverşii parametri sunt trataţi grupat, prin definirea a cinci categorii; categoria 1 este cea mai puţin pretenţioasă, iar categoria 5 cea mai evoluată, cu menţiunea că fiecare categorie superioară prezintă parametri superiori categoriei inferioare, furnizând serviciile oferite de categoriile inferioare.

Categoria 1, numită *Telecommunication*

Cuprinde cablurile folosite numai în telefonia clasică, analogică.

Categoria 2 (*Low Speed Data*)

Cuprinde cablurile pentru telefonia analogică şi digitală, dar care oferă servicii de transmitere de date la viteze inferioare.

Categoria 3 (*High Speed Data*)

Defineşte cablurile folosite la realizarea reţelelor locale cu viteze de până la 10Mbps, în special a reţelelor 802 de tip **10BaseT** şi a reţelelor **Token Ring** la 4Mbps.

Categoria 4 (*Low Loss, High Performance Data*)

Defineşte cabluri cu performanţe ridicate în ceea ce priveşte atenuarea şi viteza de transmisie, fiind folosite la viteze de câteva zeci de Mbps, precum în reţele de tip **Token Ring** la 16Mbps.

Categoria 5 (*Low Loss, Extended frequency, High Performance Data*)

Se folosesc actualmente în reţele ce operează până la 100Mbps, precum **100BaseT**.

Principalele caracteristici ale ultimelor trei categorii de cablu, sunt ilustrate sumar în tabelul 3.1, cu remarca că există realizări care au performanţe superioare în domeniul atenuării şi diafoniei, cu valori mult mai mici decât valorile admise prezentate.

De asemenea, deşi majoritatea cablurilor TP au impedanţa de 100Ω, în reţelele Token Ring s-a folosit multă vreme cablul Tip 1 IBM, un cablu STP cu două perechi de fire şi cu o impedanţă de 150Ω. Nefiind un cablu adecvat folosirii şi în telefonie, unde se cere o impedanţă de 100Ω (şi eventual patru perechi de fire), compania **IBM** a început înlocuirea cablajelor bazate pe acest cablu, cu sistemul **ACS** (*Advanced Connectivity System*), bazat pe cablu UTP de categoria 5, la 100Ω şi cu secţiunea de 24AWG.

În atenţia cercetătorilor se află cablurile de categoriile 6 şi 7, care vor opera până la viteze de 200, respectiv 600Mbps.

Caracteristici electrice	Cat. 3	Cat. 4	Cat. 5
Frecvenţa de lucru [MHz]	1÷16	1÷20	1÷100
Impedanţa [Ω]	100	100	100
Diafonia admisă [dB/100m] pt. Frecvenţe [MHz]:			
1	41	56	62
4	32	47	53
10	26	42	47
16	23	38	44
62.5	-	-	35
100	-	-	32
Atenuarea max. admisă [dB/100m] pt. Frecvenţe [MHz]:			
1	2.56	2.13	2.07
4	5.59	4.27	4.27
10	9.86	7.23	6.57
16	13.15	8.88	8.22
62.5	-	-	17.11
100	-	-	22.04

Tabelul 3.1 Caracteristici cablu UTP

3.1.1.1.2. Cablul coaxial

Cablul coaxial a avut, şi are încă, o largă folosire în reţelele locale, datorită reţelelor **Ethernet** (cel mai răspândit tip de reţele locale) şi a unor reţele **802.3**. Viitorul însă nu îi este favorabil, datorită faptului că oferă un mediu de transmisie partajat, imposibil de utilizat în reţele de mare viteză, reţele cu legături *full duplex* sau bazate pe utilizarea comutatoarelor super-rapide (vezi capitolul 5). Performanţele sale au fost atinse de cablul cu fire răsucite pentru distanţe scurte şi depăşite de cablul cu fibră optică, pentru distanţe lungi.

Structura cablului coaxial este ilustrată de figura 3.3. El constă dintr-un miez de cupru, numit **conductorul central**, izolat de al doilea conductor, conductorul exterior, care este de obicei un ecran realizat cu ţesătură de fire subţiri (şi se conectează de obicei la masă). Tot cablul este învelit într-o teacă de plastic.

Performanţele sale sunt superioare până la un punct cablului TP (mai precis categoriilor inferioare –1,2,3- de cablu TP), atât în ce priveşte banda de frecvenţe asociată, deci viteza de transmisie, cât şi în ce priveşte atenuarea semnalului pe cablu şi interferenţele cu exteriorul, cu implicaţii asupra ratei de

eroare şi distanţei maxime de propagare a semnalului fără necesar de amplificare. Noile categorii de cablu TP sunt însă comparabile ca performanţe, prezentând chiar realizări superioare.

Cablul coaxial folosit în transmisiile de date, deci folosit de reţelele de calculatoare, este **cablul coaxial în banda de bază**, cu impedanţa de 50Ω.

Există un standard pentru reţea locală 802, reţea în bandă largă, folosind transmisia analogică, numită 10Broad36, care se bazează pe **cablul coaxial de bandă largă**, cablu având impedanţa de 75Ω (cablul obişnuit pentru transmisiile **CATV** (*Common Antena TV*)). Actualmente interesul pentru reţelele locale în bandă largă a scăzut, datorită problemelor de cost, proiectare, necesar de amplificare şi acordare, precum şi de întreţinere. Raportul performanţă/cost oferit de reţelele *broadband* nu mai justifică folosirea lor pentru reţelele locale de calculatoare.

Cablul cu impedanţa de 50Ω folosit în reţelele locale este de două tipuri:

- cablul Ethernet gros (*thick*), codificat RG213, folosit în reţele IEEE 802.3 de tip 10Base5, cu buni parametri electrici, dar dificil de montat, de realizat cablajul în interiorul unei clădiri, datorită rigidităţii şi razei de curbură maxim admisă;
- cablul Ethernet subţire (*thin*), codificat RG58, folosit în reţele de tip 10Base2, foarte răspândite datorită unui principal avantaj: raportul foarte bun performanţă/cost.

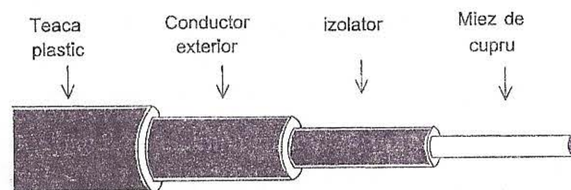


Figura 3.3 Structura cablului coaxial

Conectarea calculatoarelor la cablul coaxial se face prin două metode:

- folosind joncţiuni T, metodă care prevede tăierea cablului şi inserarea fiecărei părţi într-o joncţiune T, care este de fapt un conector care uneşte înapoi cablul, dar prevede şi a treia cale, care face conexiunea către calculator;
- utilizarea de conector de tip 'vampir' (*vampire tap*), care permite pătrunderea şi crearea unei găuri în cablu până la conductorul interior, în gaură inserându-se conectorul, creându-se tot un fel de conexiune în T, dar nefiind necesară tăierea cablului.

Subcapitolul 3.2 referitor la cablarea clădirilor prezintă tipurile standard de astfel de conectori.

Metoda de codificare folosită uzual pentru transmisiile de date în banda de bază pe cablul coaxial, este metoda **Manchester** sau **Manchester diferenţială**.

Cablul cu fire răsucite TP este folosit astăzi chiar şi în reţelele bazate tradiţional pe cablu coaxial, şi de aceea este nevoie de elemente de interconectare a cablului coaxial cu cablul TP. Aceste elemente, fie pasive, fie active (cu elemente de amplificare încorporate), se numesc **Balun**, de la tipurile transmisiilor pe cele două cabluri (***Balanced** to **unbalanced***).

3.2. Fibre optice

Fibrele optice de diferite tipuri sunt mediile fizice care asigură cele mai ridicate performanţe în RLC. Se pot obţine viteze de transfer de ordinul Gbps sau mai mari. Costul, uneori prohibitiv, al echipamentelor limitează utilizarea acestora pe scară foarte largă, deşi calităţile de imunitate la zgomot electromagnetic, rată de erori deosebit de mică ar impune acest mediu având raportul preţ/performanţă cel mai bun. Având în vedere cele de mai sus acest mediu va fi tratat în profunzime şi detaliu în paragrafele următoare.

3.2.1. Fundamentele teoretice ale comunicaţiilor prin fibră optică

Pentru a analiza propagarea luminii în fibra optică vom apela la ecuaţiile lui Maxwell care descriu propagarea undelor electromagnetice în general şi făcând apoi particularizările necesare vom ajunge la ecuaţiile ce descriu propagarea luminii în fibra optică.

Ecuaţiile lui Maxwell

$$\Delta \times H = \frac{\partial D}{\partial t} + J = \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} + \sigma E$$

$$\Delta \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} = -\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t}$$

Prin eliminarea componentei vectorului magnetic din cele două euaţii şi ţinând cont de proprietăţile mediului de a fi omogen şi izotrop şi fără purtători liberi de sarcină se ajunge la următoarea ecuaţie de undă:

$$\Delta^2 E = \mu_0 \varepsilon \frac{\partial^2 E}{\partial^2 t} + \mu_0 \sigma \frac{\partial E}{\partial t}$$

Făcând o substituţie

$$K^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon - j\omega \mu_0 \sigma$$

se ajunge la ecuaţia

$$\Delta^2 E + k^2 E = 0$$

unde ţinând cont că $\sigma = 0$, pentru medii fără pierderi şi prin definiţie

$$k_0 = \omega\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0} = \frac{\omega}{c_0}$$

se ajunge la

$$k^2 = k_0^2 \varepsilon_r$$

unde ε_r este permitivitatea relativă prin trecerea la coordonate cilindrice r,φ şi z şi separarea variabilelor se ajunge la ecuaţia ce descrie componenta câmpului ce depinde numai de z astfel:

$$\frac{1}{Z}\frac{d^2 Z}{d z^2} = -\left(\frac{1}{R}\frac{d^2 R}{d r^2} + \frac{1}{r}\frac{1}{R}\frac{dR}{dr} + \frac{1}{r^2}\frac{1}{\phi}\frac{d^2 \phi}{d \varphi^2} + k^2 \varepsilon_r\right)$$

partea dreaptă a ecuaţiei nu depinde de z şi este deci constantă la variaţia lui z.

Se poate deci scrie

$$\frac{1}{Z}\frac{d^2 Z}{d z^2} = \gamma^2$$

cu soluţia

$$Z(z) = C_1 \exp(-\gamma z) + C_2 \exp(\gamma z)$$

Unde C_1 şi C_2 sunt constante arbitrare ce se pot determina din condiţiile de limită. Propagarea doar în sensul pozitiv al axei z implică C_2=0.

În mod asemănător se poate deduce şi ecuaţia pentru componenta φ:

$$\phi(\varphi) = C_3 \cos n\varphi + C_4 \sin n\varphi$$

Cu C_3 şi C_4 constante arbitrare şi n număr întreg.

Introducând notaţia

$$h^2 = \gamma^2 + k_0^2 \varepsilon_0$$

Ecuaţia pentru componenta R devine

$$\frac{d^2 R}{d r^2} + \frac{1}{r}\frac{dR}{dr} + \left(h^2 - \frac{n^2}{r^2}\right)R$$

Acestă ecuaţie este o ecuaţie diferenţială Bessel şi soluţiile ei sunt funcţii Bessel.

Rezolvând această ecuaşie pentru miez şi pentru învelitoare se obţin soluţiile:

$$E_z = J_n(h_1 r)(A_1 \cos n\varphi + B_1 \sin n\varphi)\exp(j\omega t - \gamma z), \quad r < a$$

$$E_z = K_n(h_2 r)(A_2 \cos n\varphi + B_2 \sin n\varphi)\exp(j\omega t - \gamma z), \quad r > a$$

Unde J_n este funcţia Bessel de tip 1 şi ordinul n iar K_n este funcţia Bessel modificată de tip 2 şi ordin n.

Prin fibra optică se pot propaga trei feluri de unde:

TE Transvers Electrice care au componenta Ez=0 şi Hz#0;

TM Transvers Magnetice care au componenta Ez#0 şi Hz=0;

H Hibride care au atât Ez#0 cât şi Hz#0.

Prin introducerea variabileor $u=h_1a$ şi $w=h_2a$, la interferenţa miezului cu învelişul se obţin condiţii de continuitate a funcţiei H_z în r=a de unde se deduce n=0 şi ecuaţia caracteristică sau ecuaţia proprie:

Pentru a găsi o relaţie între u, w şi frecvenţaω sau lungimea de undă λ_0 se introduce prin definiţie frecvenţa normalizată v:

$$v = \frac{\omega a}{c_0}\sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda_0}\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

O a doua relaţie intre u, w şi v este:

$$v^2 = u^2 + w^2$$

Pentru o valoare dată a lui v ecuaţia caracteristică poate fi rezolvată, iar valorile lui u şi w substituite în ecuaţiile pentru H. Valorile lui u şi w care satisfac ecuaţia proprie nu pot fi determinate analitic dar ele sunt discrete şi în număr finit. Fiecare din aceste valori discrete determină un mod de transmisie sau pe scurt mod.

Numărul de moduri care apar într-o fibră este dată prin aproximaţie de

relația:

$v^2/2$ pentru fibre cu miez cu indice de refracție constant sau

$v^2/4$ pentru fibre cu miez cu indice de refracție variabil parabolic.

Se definește ca apertură numerică NA

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

arcsin(NA) ne dă unghiul maxim pe care o rază de lumină o poate face cu fibra pentru a fi captată și condusă.

Dacă $v<2.405$ ecuația caracteristică permite o singură soluție și în consecință există un singur mod de propagare a luminii prin fibră cel fundamental.

Fibrele pentru care este îndeplinită această condiție se numesc fibre monomod. Calitatea de monomod este dependentă de frecvența sau de lungimea de undă a luminii. Este deci incorect spus că fibra este monomod, corect este că fibra se comportă monomod pentru frecvența dată.

Pentru o fibră dată se poate calcula lungimea de undă minimă pentru care fibra devine monomod:

$$\lambda_c = \frac{2\pi aNA}{2,405}$$

3.2.2. Elementele unei Legături Optice

Elementele unei legături optice sunt emițător, fibră optică și un receptor.

Emițătoare

Emițătorul poate fi un LED (Light Emitting Diode) sau un laser semiconductor.

Modul de funcționare a unui LED este următorul. O juncțiune p-n a unui semiconductor poate emite spontan în anumite condiții, ușor de satisfăcut, lumină în spectrul visibil sau aproape de infra roșu în cazul în care joncțiunea este străbătută de un curent direct. Banda de conducție a semiconductorului este populată de electroni injectați de curentul direct, banda de valență este populată de goluri. După un timp electronii și golurile se recombină în mod spontan și diferența dintre nivelele enrgetice ale benzilor de conducție și valență este emisă sub forma unui foton. Acestă diferență de energie este notată cu E_g. În acest caz lungimea de undă a radiației emise este:

$$\lambda = \frac{hc}{E_g}$$

unde h este constanta lui Planck.

Dacă E_g este exprimat în eV relația devine:

$$\lambda_0 = \frac{1.24}{E_g}\mu m$$

Această emisie spontană are loc în stratul p aproape de joncțiune. Printr-o proiectare atentă a semiconductorului se poate ajunge la o eficiență cuantică, ce desemnează raportul dintre numărul de electroni injectați în semiconductor și numărul de fotoni generați de aproximativ 80%. Eficiența globală este mai mică datorită absorbției și altor fenomeme cum ar fi vibrația termică.

Un alt aspect esențial al emisiei de radiație îl constitue geometria radiației astfel încât aceasta să poată fi captată cu ușurință de fibră pentru a fi transmisă prin fibra optică.

Construcția unui LED trebuie să permită o operare la frecvențe mari ceea ce implică timpi de răspuns mici și o disipare rapidă a căldurii generate. Creșterea temperaturii provoacă o scădere drastică e emisiei de lumină.

Există două tipuri constructive de bază pentru LED-uri: cu emisie pe suprafață și cu emisie pe muchie.

La LED cu emisie pe suprafață, emisia luminii are loc perpendicular pe planul joncțiunii printr-un strat subțire transparent. Acestea emit într-un spectru geometric radial.

La LED cu emisie pe muchie lumina este emisă într-un plan paralel cu joncțiunea n-p la muchia semiconductorului. Spectrul de emisie geometric este confinat prin creerea unei suprafețe reflectante la un capăt. La capătul liber spectrul de emisie geometric este restrâns pe unul dintre plane la numai 30^0, fapt care ușurează captarea luminii în fibră.

Materialele cel mai des utilizate sunt compuși III-V ca GaAs sau $Al_xGa_{1-x}As$ pentru lungimi de undă de 0,8-0,9 μm și $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ pentru lungimi de undă de 1,3-1,6 μm.

Cuplarea la fibra optică poate fi îmbunătățită prin utilizarea unei lentile sferice.

Spectrul de emisie a unui LED este cuprins între 25-40 μm pentru lungimi de undă mici și 50-100 μm pentru lungimi de undă mai mari. Lărgimea spectrului este direct dependentă de temperatură.

Diodele semiconductoare LASER, diode laser (LD), se obțin prin introducerea unui LED într-o cavitate rezonantă optic. Efectul de LASER apare numai la existența unui curent direct suficient de mare pentru a se realiza o inversare de populații a electronilor și a golurilor din cele două benzi energetice de conducție și de valență. Valoarea de curent de la care apare acest efect se numește curent limită. Sub acest curent dispozitivul se comportă ca un LED obișnuit. Deoarece lumina emisă de un laser este mult mai coerentă decât cea emisă de un LED, eficiența de cuplare la fibra optică este superioară. De asemenea, puterea optică

captată de la un laser este mai mare decât cea emisă de LED.

O analiză comparată între cele două tipuri de emițătoare este clar în favoarea LD prin posibilitatea de utilizare la frecvențe mai mari, spectru mai restrâns și în favoarea LED ca preț și stabilitate mai mare a puterii în raport cu temperatura.

Timpul de viață al ambelor dispozitive este egal și de ordinul a 10 milioane ore.

Receptoare

Receptoarele unei legături optice sunt constituite tot din dispozitive semiconductoare numite fotodiode. Acestea se clasifică în două tipuri: simple și cu câștig intern. Primele se mai numesc și fotodiode PIN după tipul de dopare (p intrinsec și n) iar cea de a doua categorie se numește APD (Avalanche Photo-Diodes).

Principiul de funcționare a unei fotodiode este după cum urmează. Un foton care pătrunde în joncțiunea p-n va genera dacă are o energie suficient de mare o pereche electron gol. Acestă pereche electron gol genereazǎ unui curent suplimentar prin joncțiune față de curentul la întuneric. În polarizare directă se poate utiliza efectul fotovoltaic sau curentul de scurt circuit. Variația ambelor mărimi este însă mică și în acest regim fotodioda are timpi de reacție mari. Este utilizată fotodioda polarizată invers în regim fotoconductiv în care viteza purtătorilor de sarcină este accelerată de prezența unui câmp electric care mărește considerabil viteza de răspuns a dispozitivului. Realizarea unei eficiențe cuantice mari necesită o diodă de dimensiuni mai mari pentru absorbția tuturor fotonilor, viteza de răspuns este însă invers proporțională cu dimensiunea diodei. Din acest motiv se alege un compromis între viteza de răspuns și eficiența cuantică.

Prin creșterea tensiunii inverse aplicate diodei perechile de purtători generați pot ajunge la energii la care prin ciocniri repetate pot elibera și alți purtători din banda de valență în cea de conducție. Atât timp cât tensiunea inversă este mai mică decât cea de străpungere numărul de purtători generați este proporțional cu numărul de fotoni absorbiți inițial.

Câștigul unei fotodiode APD este dependent de structura diodei prin constanta τ și de frecvența informației de la intrare ω prin relația:

$$G(\omega)=\frac{g_0}{\sqrt{1+(\omega G_0\tau)^2}}$$

Ca materiale semiconductoare sunt folosite Si pentru lungimi de undă de 800-900 nm și Ge sau InGaAsP pentru 1300 și 1500 nm. Si are sensibilitate optimă doar într-o zonă de frecvențe redusă pe când Ge are un curent de întuneric apreciabil și este mai sensibil la zgomot. Din acest motiv ultima variantă este cea mai bună dar necesită o tehnologie de fabricație mai sofisticată și în consecință are și un preț mai mare.

Fibra optică

Cea mai importantă componentă a unui sistem de comunicație date prin fibră optică este fibra optică. Aceasta este formată dintr-un miez și un înveliș ambele din sticlă dar cu indice de refracție diferit. Peste învelișul din sticlă mai este un înveliș protector de obicei din plastic.

Metoda de fabricare a fibrei optice se bazează pe tragerea la cald a unui lingou de sticlă poroasă, care este compus prin depuneri succesive de material sticlos, întâi pentru miez iar apoi pentru înveliș.

Indicele de refracție al miezului poate fi constant sau variabil funcție de distanța față de centrul fibrei. Cele de primul fel se numesc fibre cu index pas iar cele de al doilea tip au numele de fibre cu index variabil.

Un segment de fibră precum și diferite secțiuni împreună cu variația indicelui de refracție sunt prezentate mai jos.

De observat că fibra monomod este mult mai subțire.

Prin fibra multimod există mai multe moduri de propagare a luminii pe când prin fibra monomod există doar unul singur.

Condiția monomod pentru o fibră cu index pas este:

$$\lambda_c > \frac{2\pi a}{2,405}\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

unde: λ_c este lungimea de undă a luminii în vid;
a este raza fibrei;
n_1 indicele de refracție al miezului;
n_2 indicele de refracție al învelișului.

În ghidul de undă numit fibră optică, lumina suferă pe lângă propagare două fenomene principale: atenuare și dispersie.

Atenuarea sau absorbția se datorează în principal prezenței ionilor hidroxil -OH și a diferiților ioni de metale. Lumina poate fi de asemenea împrăștiată de microcristale, mai mici decât lungimea de undă, care se formează la răcirea sticlei. Atenuarea produsă de împrăștiere este proporțională cu λ_0^{-4}. Valori comune pentru atenuare sunt în jur de 2dB per km.

Atenuarea limitează utilizarea fibrei optice în lungime.

Dispersia sau lărgirea lățimii impulsurilor se datorează în fibra multimod lungimii diferite pe care o au diferitele moduri. O altă dispersie cea cromatică este datorată variației indicelui de refracție în funcție de culoarea sau lungimea de undă a luminii. Nici o sursă, mai ales modulată, nu emite o lumină pură monocromă ci un impuls cu împrăștiere gaussiană a puterii optice funcție de frecvență.

Dispersia limitează utilizarea fibrei optice în frecvență sau lărgime de bandă.

Cele două limitări înmulțite caracterizează cel mai corect o fibră optică. Valori de 20MHz-km se obțin pentru fibra cu index-pas, de 1GHz-km pentru cea cu index variabil și de 1000GHz-km pentru cea monomod la care nu există

dispersie modală.

Structura unei fibre optice monomod este prezentată în figura de mai jos:

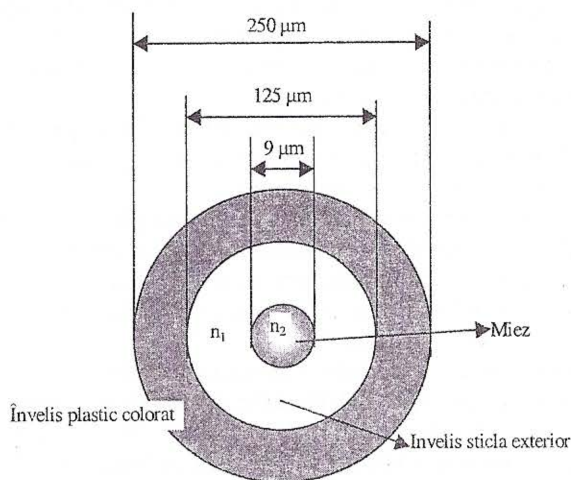


Figura 3.4 Fibră optică monomod

Fibra optică multimod are o structură asemănătoare cu diferenţa că dimensiunea miezului este de 50 sau de 62,5 µm, de asemenea indicele de refracţie n_2 al miezului este constant de-alungul secţiunii iar la fibra monomod acest poate fi variabil.

Joncţiuni

Joncţiunile sunt acele puncte în care două segmente de fibră sunt conectate pentru a se realiza o fibră de lungime mai mare. Joncţiunile se realizează fie la combinarea unor cabluri de fibră optică cu număr diferit de fibre, fie la distanţe mai mari unde o rolă se termină şi se continuă cu alta, rolele de cablu optic au lungimi cuprinse între 500 şi 12000 m sau la ataşarea la capătul fibrei a unor terminatoare sau conectoare prefabricate.

Joncţiunile sunt de două tipuri, mecanice şi de fuziune. La joncţiunile mecanice cele două capete de fibră, atent tăiate, curăţate şi şlefuite sunt prinse într-o montură mecanică rigidă care le fixează una faţă de cealaltă într-un ansamblu imobil. Calitatea unei joncţiuni mecanice depinde foarte mult de precizia execuţie ansamblului de jonctare, a preciziei cu care au fost aliniate axial şi radial cele două fibre precum şi a fineţii prelucrării capetelor de fibră.

Pentru a elimina eventualele interstiţii de aer dintre fibre se utilizează geluri speciale care se introduc între capetele celor două fibre.

Joncţiunile sudate se execută prin încălzirea aproape până la punctul de topire. În acest moment cele două fibre sunt lipite una de alta şi răcite. Aceste operaţii sunt precedate de operaţii de tăiere şi finisare a capetelor şi de aliniere prealabilă a celor două capete de jonctat. Joncţiunile sudate refac şi rezistenţa la tragere/rupere a fibrei la aproximativ 90% din cea iniţială.

Joncţiunile mecanice sunt mai ieftine şi mai uşor de realizat şi din punctul de vedere al atenuării pe care o introduc sunt de multe ori suficiente.

Joncţiunile sudate se efectuează cu aparatură specială, comandată de calculator, au o fiabilitate mult mai mare dar necesită timp de execuţie mai lung, sunt mai costisitoare şi nu se pot executa de exemplu în tunele de cabluri. Acestea necesită şi un personal calificat superior.

Joncţiunile introduc o atenuare în fibra optică în valoare de 0,4dB pentru cea mecanică şi de 0,1dB pentru cea sudată.

Nu se pot joncta fibre optice de tipuri diferite, prin tip înţelegându-se oricare din caracteristicile fibrei, monomod sau multimod, diametre diferite, tip de variaţie al indicelui de refracţie în miez, etc.

Pregătirea capetelor de fibră, tăierea şi finisarea se execută cu scule speciale pentru a prevenii apariţia de muchii şi striaţiuni pe suprafaţa de tăiere. Capetele celor două fibre trebuie să fie plan paralele pentru a asigura o atenuare suplimentară minimă.

Conectori optici

Conectori optici sunt utilizaţi pentru a realiza conectarea semipermanentă sau pentru configuraţii variabile. În cazul unei configuraţii sau conectări permanente se va utiliza o joncţiune.

Atenuarea introdusă de un conector optic, chiar de calitate superioară este mai mare decât cea introdusă de o joncţiune având valori 0,2-0,5 dB. Trebuie ţinut cont şi de faptul că un conector are de obicei două capete iar această atenuare trebuie socotită de fiecare capăt.

Conectorii sunt echipamente mecanice de mare precizie şi de obicei un capăt al fibrei se află în conector iar unul este liber. În acest caz ataşarea unui conector se reduce la execuţia unei joncţiuni. O astfel de soluţie este de obicei mai avantajoasă decât montarea unui conector direct pe capătul fibrei deoarece conectori prefabricaţi asigură o precizie de montare mult mai mare şi în consecinţă o atenuare mai mică chiar cu preţul unei joncţiuni suplimentare.

În cazul în care fibra optică este terminată într-un terminator de fibră optică pentru redistribuire acest conector de capăt se mai numeşte şi "pig-tail" şi este de tipul prefabricat.

O categorie specială de conectori o constitue cordoanele optice de distribuire sau legătură. Acestea sunt fibre optice speciale cu conectori la ambele capete care permit raze de curbură a fibrei mici de ordinul 2,5-5 cm. Culoarea acestora este galben pentru fibră monomod şi portocaliu pentru fibra multimod.

Un factor deosebit de important în calitatea conexiunilor realizate prin

conectori este lipsa impurităților din elementele de conectare. Din acest motiv înainte de utilizare și după fiecare deconectare se recomandă curățirea conectorilor optici cu o soluție alcoolică pentru îndepărtarea prafului.

3.2.3. Instalarea Cablurilor Optice

Cabluri optice

În general fibra optică nu se poate utiliza ca atare ci mai multe fibre optice sunt îmbinate prin diferite metode pentru a da naștere unui cablu optic cu un număr oarecare de fibre. De obicei acest număr este par având în vedere că pentru realizarea unei legături punct la punct cu transmisie de date în ambele direcții este nevoie de două fibre, una pentru transmisie și una pentru recepție.

Tipuri de Cablu Optic

Prin construcție se deosebesc două categorii mari de cabluri optice: strânse și lejere. În cele strânse fibra optică este înconjurată succesiv dar strâns de mai multe straturi de protecție. Mai multe astfel de fibre sunt protejate sunt dispuse în jurul unei armături centrale de rezistență și de tragere. La rândul său acest complex este înconjurat de o altă serie de învelișuri protectoare care pot fi chiar și din oțel pentru medii deosebit de corozive. În mod obișnuit învelișurile exterioare sunt din polietilenă sau aramid. Tipul de cablu strâns permite raze de curbură mai mici și este mai flexibil și este utilizat în special în interiorul clădirilor și pe verticală. Are ca principal handicap faptul că orice tensiune ce se aplică cablului este transmisă și fibrei ceea ce poate duce ușor la ruperea ei dacă nu se iau măsurile necesare.

Tipul de cablu lejer permite o instalare în primul rând pe orizontală și deobicei în conducte sau paturi de cablu. în acest tip de cablu mai multe fibre optice sunt grupate într-un tub de fibre care este umplut cu un gel special rezistent la umiditate care protejează fibra împotriva factorilor de mediu. La rândul lor aceste tuburi cu fibre sunt grupate în jurul unei armături centrale de tragere și de rezistență.

Principalul avantaj al acestui tip de cablu este acela că tensiunile la care este supus cablul nu sunt transmise asupra fibrei. Ca dezavantaje se pot menționa greutatea mai mare, rază de curbură admisă mai mare și faptul ca lungimea fibrei este mai mare decât lungimea cablului. Acest fapt poate fi deranjant la detectarea erorilor în fibră când lungimea fibrei nu coincide cu lungimea cablului. Această lungime diferită se datorează faptului că tuburile cu fibră sunt înfășurate în jurul armăturii centrale și fiecare fibră este puțin mai lungă decât tubul în care este prinsă.

Cablurile optice armate sunt destinate unor medii deosebit de dificile și conțin ca o armătură specială o manta de oțel sau se Kevlar. Acest tip de cablu poate fi direct îngropat în pamânt și protejează fibra și împotriva rozătoarelor și

a acțiunii de strivire. În cazul armăturii de oțel aceasta trebuie legată la masă sau pământare, la orice punct terminal sau intrare în clădire.

Specificarea Cablurilor Optice

Un cablu optic poate fi specificat după următorul exemplu:

Specificare		Explicații
Tip cablu	lejer	3 tuburi active a 6 fibre
Număr fibre	18	în fiecare tub
greutate nominală	166kg/km	
Diametru	14,4 mm	poate varia cu 5%
Temperaturi		
- de stocare	-40 la 70^{0}C	temp. de stocare pe mosor
- de operare	-40 la 70^{0}C	temp. la care operează
- de instalare	-30 la 50^{0}C	temp. la care se poate instala
Tensiuni maxime		
- instalare	2700 N	Tens. max. în timpul instalării
- permanente	600 N	tens. max. în timpul utilizării la care nu apar creșteri ale atenuării
Rezistența la strivire	220N/cm	max. la care nu apar creșterii ale atenuării
Înălțare maximă	247 m	fără suporți intermediari
Fire de cupru	fără	Se util. pt. commuicație în timpul instalării
Înveliș exterior	Polietilenă	Material comun și ieftin
Armătura centrală	Dielectric	Nu trebuie pământare
Rază minimă		
- la instalare	22.5 cm	min. în timpul instalării
- permanentă	15 cm	min. la care nu apar creșterii ale atenuării

Instalarea Cablurilor Optice în Clădiri

În interiorul clădirilor cablurile optice pot fi instalate în ghidajele de cabluri deja existente sau executate special pentru cabluri optice. Ghidajele trebuie să îndeplinească restricțiile mecanice impuse de cablurile optice în special cele privind raza minimă de curbură.

Se recomandă plasarea cablurilor optice într-o cămașe protectoare suplimentară pentru a proteja cablul de eventualele presiuni ce ar putea ajunge la cabluri.

Pentru interior se recomandă utilizarea cablurilor fără cămașă metalică

pentru a nu pierde proprietatea de dielectric a acestora şi capacitatea de izolare electrică între diferitele echipamente.

Trebuie evitate de asemenea toate muchiile ascuţite pentru a nu se tăia cablul în cursul existenţei sale.

La amplasarea de cabluri mai lungi este nevoie de cutii de tragere intermediare pentru a trage cablul optic în etape succesive şi a micşora astfel tensiunea de tragere. Aceste cutii de tragere sunt necesare la cotituri. Dimensiunea minimă a acestor cutii de tragere trebuie să fie de minim 4 x Raza minimă de curbură pentru cele intermediare şi de minim 3 x Rmin la cotituri.

Dimensionarea acestor cutii de tragere este prezentată mai jos:

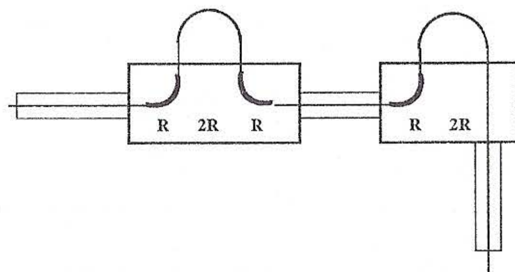


Figura 3.5 Dimensionarea camerelor de tragere

La intrarea cablului optic din exterior în clădire, cablul de tip exterior va fi jonctat într-o cutie de joncţiuni cu un cablu de interior pentru a putea fi dus la înălţimea necesară. Cablurile de exterior care au gel nu se pot ridica pe verticală din cauza scurgerii gelului. De asemenea raza de curbură minimă prea mare nu permite ducerea cablului de exterior prin traseele de cabluri din clădiri. Tot în acest punct se face şi împământarea armăturii de oţel a cablului de exterior.

Legătura la echipamente se face pe sub podele ridicate şi prin panouri de distribuţie cu ajutorul cordoanelor optice flexibile. Tot aici se recomandă amplasarea unei bucle de cablu cu lungime de rezervă ce poate fi utilă la nevoie, cum ar fi: deplasarea echipamentelor sau ruperea accidentală a cablului optic.

Instalarea Cablurilor Optice în Exterior

Pentru instalarea în exterior a cablurilor optice există mai multe variante. Dintre aceste amintim îngroparea direct în pământ, îngroparea de conducte în pământ şi amplasarea cablului optic în această conductă, plasarea în canale de comunicaţie şi amplasarea aeriană.

Îngroparea direct în pământ sau în conducte îngropate este utilizată la cablurile optice care fac legătura între localităţi. Cablul optic sau conducta cel conţine sunt îngropate la adâncime de peste 75 cm şi se plasează o panglică de avertizare la adâncimea de 45 cm. Şanţurile necesare vor fi săpate cât mai îngust posibil pentru a nu se curba fibra suplimentar.Pentru îngropare directă se

va utiliza cablu optic cu armură grea.

La instalarea cablului optic prin conducte acestea trebuie să fie unse corespunzător pentru a reduce forţele de frecare şi a micşora tensiunea la care este supus cablul în timpul instalării. Există conducte preunse şi cu fir de tragere preinstalat care micşorează considerabil timpul necesar operaţiunii de pozare a cablului.

Plasarea în canale de comunicaţie preexistente este specifică instalării cablului optic în localităţi. În acest caz de cele mai multe ori se utilizează fie conducte libere deja existente fie se amplasează în canale conducte noi. Fibra optică va fi plasată numai în conducte pentru a fi protejată faţă de alte cabluri şi mai ales la acţiuni involuntare care au loc la operaţii asupra celorlalte cabluri.

O altă posibilitate de amplasare a cablului de fibră optică este cea aeriană. La această soluţie se recurge în cazul inexistenţei canalelor de comunicaţie sau dacă acestea sunt inaccesibile din diverse motive. La soluţia aeriană se poate utiliza cablu cu autosusţinere care uşurează mult operaţiile de ancorare. În cazul utilizării cablului obişnuit se va trage şi un fir de oţel necesar pentru susţinerea cablului optic. În timpul ridicării cablului trebuie avut grijă să se respecte raza minimă de curbură pentru a nu compromite cablul.

Joncţiuni şi Terminatoare

Joncţiunile pe fibra optică trebuie amplasate, în special la cablurile cu gel, în cutii de jonctare care au manşete de prindere a celor două cabluri şi elemente de ancorare a armăturii de tragere. Pentru cablurile strânse există posibilitatea realizării joncţiunilor direct pe cablu şi prinderea acestora cu un manşon.

Terminarea cablurilor optice se face cu rame cap cablu optic sau rame de distribuţie. Acestea conţin şi o cutie pentru joncţiuni în care se poate joncta fibra optică cu un terminator prefabricat, pigtail, care asigură o calitate superioară a terminării.

Există şi posibilitatea instalării pe capătul fibrei a unor conectoare cu montare la client. Această operaţie de montare a conectorului necesită o grijă deosebită în execuţie şi un personal calificat pentru aceasta. Calitatea unei asemenea terminării este de mai proastă calitate decât utilizarea unui conector prefabricat şi jonctarea acestuia pe fibra optică.

3.2.4. Testarea Legăturii Optice

Etapa următoare pozării cablurilor de fibră optică şi realizării joncţiunilor şi a terminărilor de fibră optică este testarea legăturii prin fibră optică.

La realizarea în special a joncţiunilor, se execută şi teste intermediare pentru a determina calitatea joncţiunilor realizate dar cel mai important test este cel al legăturii capăt la capăt care trebuie să se încadreze în baremele de atenuare şi

dispersie precalculate pentru ca legătura prin fibra optică să fie viabilă şi în acelaşi timp fiabilă.

Pentru testarea unei legături prin fibră optică există mai multe procedee din care amintim procedeul de măsurare a puterii optice la ieşire, procedeul OTDR şi testul BER de rată a erorilor.

Procedeul de Măsurare a Puterii Optice

Acest procdeu determină pierderile de putere prin legătura optică măsurând puterea la ieşire la o putere de intrare cunoscută.

Unitatea de măsură pentru puteri optice este miliwattul (mW) insă din considerente practice se utilizează o altă unitate de măsură care măsoră câştigul (G) sau pierderea (L) într-un sistem şi anume deciBell-ul (dB).

Formula pentru calculul câştigului G este:

$G_{(dB)} = 10 \times log(putere\ la\ ieşire\ /\ putere\ la\ intrare).$

Cum în sistemele optice acest rapotr al puterilor este subunitar, sistemul având pierderi se utilizează pierderea cu formula:

$L_{(dB)} = -\ G_{(dB)}\ sau$

$L_{(dB)} = 10 \times log(putere\ la\ intrare\ /\ putere\ la\ ieşire).$

Aceste Valori sunt valori relative şi ca atare nu au unitate de măsură. Pentru a avea şi unitate de măsură se pot calcula căstigurile sau pierderile relativ la puterea de 1 mW cu formula:

$P_{(dBm)} = 10 \times log\ (putere\ /\ 1mW)$

Pentru a putea măsura pierderile de putere optică prin fibră este nevoie de următoarele echipamente:

a) Aparat de măsură a puterii optice cu următoarele specificaţii:
- funcţional pentru lungimea de undă de lucru a fibrei;
- cordoane de conectare compatibile;
- acordat pentru tipul de fibră mono sau multimod testată;
- calibrat în dBm şi opţional în dB.

b) Sursă optică:
- cu sursă de lumină stabilă ;
- cu lungimi de undă de operare necesare;
- cordoane de conectare compatibile ;
- sursă LED sau LASER ;
- cu putere suficientă.

c) Cordoane de test:
- cel puţin două de lungime de 1 şi 5 m ;

- cu pierderi cunoscute;
- cu conectori compatibili;
- cu aceaşi dimensiune a miezului ca a fibrei testate.

Procedura de Test

La început se calibrează aparatul de măsură a puterii optice prin conectarea la sursă cu cordonul de test. Se reglează scara acestuia la 0 dacă indică valori relative dB sau se notează valoarea dacă indică valori absolute dBm P_{ref}.

Se măsoară apoi pierderile prin cordoanele de conectare ce vor fi utilizate în legătura optică şi se compară valorile citite cu cele specificate de fabricant. În caz de abatere de la specificaţii se vor inspecta punctele de conectare şi se vor curăţa conectoarele optice pentru a se îcadra în parametrii sau se vor înlocuii dacă se dovedesc defecte.

Pentru măsurarea pierderii în fibra propriu zisă există două metode: măsurarea la două capete sau măsurarea printr-o buclă de închidere. Prima varianta este mai precisă dar necesită două aparate de măsură la ambele capete. A doua furnizează date mediate pentru cele două fibre, dus şi întors, necesită doar un singur aparat dar este mai lungă ca durată în timp.

Se identifică capetele fibrei de măsurat sau a celor două fibre dacă se măsoară în buclă. Pentru măsurare se conectează fibra de măsurat prin cordonul de test la sursă şi celălalt capăt la aparatul de măsură şi se citeşte valoarea indicată. Dacă se măsoară în buclă se conectează întâi şi cordonul de buclare. Se notează valorile măsurate pentru toate fibrele din cablu măsurate.

Formulele de calcul pentru pierderea în fibră, *L*, în cele 4 cazuri pentru puteri relative sau absolute respectiv fibră simplă sau buclă sunt:

O fibră şi puteri relative dB:

$L_{fibră} = L_{măsurat} - L_{cordon\ A}\ dB$

O fibră şi puteri absolute dBm:

$L_{fibră} = P_{ref} - P_{măsurat} - L_{cordon\ A}\ dBm$

Buclă puteri şi relative dB:

$L_{fibră} = (L_{măsurat} - L_{cordon\ A} - L_{cordon\ B})/2\ dB$

Buclă puteri absolute dBm:

$L_{fibră} = (P_{ref} - P_{măsurat} - L_{cordon\ A} - L_{cordon\ B})/2\ dBm$

Procedeul OTDR de Măsurare a Reflexiilor

Procedeul OTDR Optical Time Domain Reflectometer este procedeul prin care se pot vizualiza caracteristicile de atenuare ale unei fibre optice precum şi lungimea acesteia. Acest procedeu este singurul prin care se pot

detecta pozițiile întreruperilor în fibra optică. OTDR afişează un grafic care are ca axă x lungimea fibrei şi ca axă y atenuarea. Din graficul astfel afişat se pot deduce atenuarea fibrei, calitatea joncţiunilor şi a conectoarelor. Dea semenea se poate determina poziția rupturilor în cablu dacă extern cablul nu este afectat.

Dispozitivul OTDR emite impulsuri scurte de lumină şi măsoară timpul necesar a reflexiilor impulsurilor să revină la OTDR. Reflexiile sunt generate de impuritățile din fibră, de joncțiuni, conectoare şi de capătul liber al fibrei.

Cunoscând indicele de refracție al fibrei şi timpul de întoarcere al reflexiilor OTDR calculează distanța de la care provine reflexia prin formula:

$$Distanța = (3 \times 10^8 \times timp) / (2 \times indice\ de\ refracție)$$

OTDR măsoară de asemenea puterea impulsului reflectat şi produce astfel graficul atenuării în funcție de distanță.

Pentru testul OTDR este nevoie de următoarele echipamente:

a) Aparat OTDR cu caracteristicile:
   - funcționează la lungimea de undă cerută;
   - conectori necesari;
   - dinamică suficientă pentru fibra de măsurat.

b) Cordoane de test
   - de lungimea cerută;
   - conectori;
   - fibră de dimensiunile cerute.

c) Fibră moartă de tipul şi lungimea necesară.

Fibra moartă este o fibră de lungime de 1 km înfăşurată pe un mosor care se conectează între OTDR şi fibra de măsurat pentru a depăşi zona moartă a OTDR. Acestă zonă moartă este lungimea inițială pe care OTDR nu poate sesiza nici o anomalie din cauza apropierii prea mari față de emițător.

Procedura de testare este după cum urmează:

- se montează conectorii necesari pe fibră dacă aceştia nu există;
- se conectează fibra la OTDR prin conectori şi fibra moartă dacă e necesar;
- se porneşte OTDR şi se lasă să ajungă la temperatura de funcționare;
- se reglează parametrii OTDR, indicele de refracție al fibrei, rezoluția, etc.;
- se măsoară atenuările pentru toate anomaliile, joncțiuni, conectori şi fibră;
- se repetă testul pentru toate fibrele;
- se efectuează aceleaşi măsurători şi la capătul opus al fibrei;
- se mediază rezultatele pentru o fibră de la cele două capete pentru un rezultat mai apropiat de realitate.

Determinarea locului unei anomalii se face printr-un calcul suplimentar față de valoare indicată de OTDR. Acest lucru este necesar deoarece lungimea fibrei din cablu este mai mare decât lungimea cablului.

$$l_{cablu} = l_{OTDR} / (1 + proc_{exces\%}/100)$$

unde:

- l_{cablu} este lungimea măsurată pe cablu unde este defectul;
- l_{OTDR} este lungimea măsurată prin OTDR pe fibră utilizând indicele de refracție exact al fibrei;
- $proc_{exces\%}$ este procentul de fibră în exces în cablu, dată furnizată de producător.

Graficele afişate de OTDR pentru diferite situații sunt redate mai jos.

Primul grafic indică o fibră fără anomalii şi cu terminare corectă. Cel de al doilea din dreapta indică o fibră întreruptă sau terminată incorect.

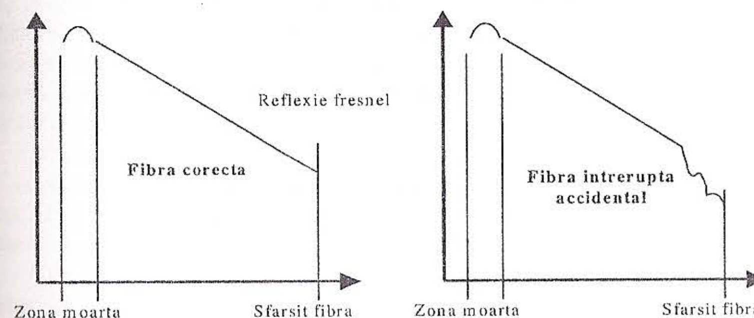


Figura 3.6 Imagini OTDR Fibră corectă şi întreruptă

Primul grafic indică o joncțiune iar cel din dreapta un conector optic.

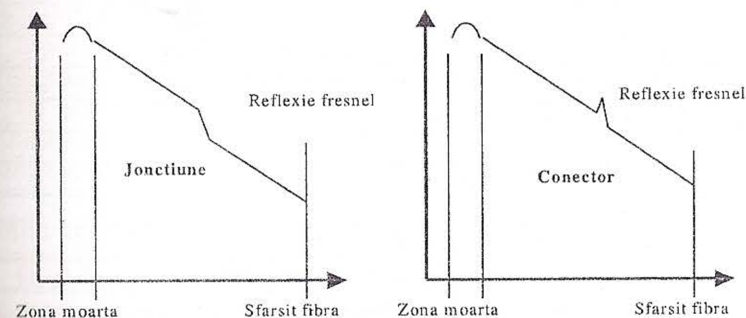


Figura 3.7 Imagini OTDR Joncțiune şi Conector

Testul BER

Testul BER (Bit Error Rate) este testul final la care se supune o legătură de date prin fibră optică. Acest test sau criteriu arată la câţi biţi transmişi prin fibră se produce o eroare datorată fibrei. Testul BER trebuie să îndeplinească cerinţele impuse de producătorii de echipamente DTE ce se cuplează la fibra optică. Pentru reţele de calculatoare acestea cer să fie mai mici decât 1 bit de eroare la 10^9 biţi transmişi sau BER < 10^{-9}.

Pentru testare este nevoie de un generator de secvenţe de bit aleatoare şi de o interfaţă la fibra optică dacă se testează o buclă sau de două dacă se testează o singură fibră.

Pentru a avea rezultate semnificative testul trebuie să se desfăşoare pe o perioadă suficient de lungă astfel încât să se transmită un număr suficient de mare de biţi. Perioade de testare de o zi sau două sunt obişnuite dacă se lucrează la rată de bit mare în utilizarea legăturii prin fibră optică şi BER mic. Un numărător poate contoriza automat numărul de erori detectate.

La sfârşitul testului se calculează raportul dintre numărul de erori şi cel al biţilor transmişi. Acest rezultat trebuie să se încadreze în cerinţe. Numărul de biţi transmişi se calculează prin înmulţirea timpului cu rata de emisie a echipamentul BER, iar cel al erorilor se citeşte de pe numărător.

3.2.5. Calculul bugetului de putere optică

Diametrul fibrei optice:Miez_________µm/Înveliş_________µm.
Apertura numerică a fibrei NA:_____.
Lungimea de undă a echipamentului optic:_________µm.

Calculul puterii optice ce ajunge la receptor se face după următorul tabel.

Nr. crt.	Pierdere sau Putere Optică	dB
1.	Pierderea pe km în Fibra Optică__dB/km X _____km fibră	_____dB
2.	Pierderea în Joncţiuni _____dB/joncţiune X _____joncţiuni	_____dB
3.	Pierderea în Conectoare ____dB/conector X ____ conectoare	_____dB
4.	Pierderi pe alte Componente	_____dB
5.	Margine de Eroare	_____dB
6.	Pierderea Totală pe Legătură (1+2+3+4+5)	_____dB
7.	Puterea de Emisie Medie a Emiţătorului	_____dB
8.	Putere Medie Recepţionată de Receptor (7-6)	_____dB
9.	Dinamica Receptorului _____dB la _____dB	
10.	Sensibilitatea Receptorului la O Rată de Erori dată BER _____	_____dB
11.	Putere Rămasă Disponibilă	_____dB

Observaţii

La punctul 3. nu se iau în considerare pierderile de conectare a emiţătorului la fibra optică, acestea fiind incluse deja.

Valoarea calculată la punctul 8. trebuie să fie în intervalul de la punctul 9. pentru ca receptorul să funcţioneze corect.

Valoarea calculată la punctul 11. trebuie să fie pozitivă pentru a avea o legătură de date optică funcţională.

Pierderea pe km de fibră este o dată de construcţie a fibrei şi este specificată de producător sau de furnizor. Ea este mai mare pentru fibra multimod, în intervalul 1-2 dB/km iar pentru fibra monomod în jur de 0,5dB/km.

Această pierdere este datorată atenuării şi diferitelor tipuri de dispersii, modale, cromatice etc.

Pierderea la joncţiuni se datorează în mare măsură nealinierii perfecte a celor două segmente de cablu, a diferenţelor în diametru şi compoziţie a celor două segmente precum şi prelucrării imperfecte a celor două capete.

Valori tipice sunt de 0,5 dB pentru joncţiunile mecanice şi de 0,1 dB pentru cele sudate.

Pierderea în conectoare se datorează aceloraşi cauze ca pierderile din joncţiuni dar sunt mai mari deoarece conectoarele sunt mobile pe când joncţiunile nu. Valori tipice sunt de 1 dB.

Marginea de eroare se datorează luării în calcul a unor valori medii pentru toate componentele legăturii. Dispersia acestor valori în jurul valorii medii este cunoscută şi se poate lua o margine de eroare suficient de mare ca aceasta să acopere deviaţiile de la medie cu o probabilitate de 99,9% sau mai mare.

Cu cât numărul de elemente este mai mare şi cu cât se doreşte o probabilitate de acoperire mai mare cu atât se va lua o margine de eroare mai mare.

Puterea de emisie optică a emiţătorului este o dată de catalog şi conţine în ea inclusă şi pierderea de conectare la un capăt de fibră optică în cazul în care conectarea se face conform recomandărilor.Puterea este mai mare la diode LASER şi mai mică la LED. În cazul utilizării de LASER este nevoie pentru distanţe relativ scurte chiar de un atenuator pentru a nu distruge receptorul.

Dinamica receptorului reprezintă plaja de puteri pe care un receptor le poate transforma în semnal electric fără pierderi de informaaţie.

De asemenea este nevoie de o putere optică minimă necesară pentru îndeplinirea condiţiei de rată de erori tolerată care pentru reţele de calculatoare se situează la valoarea de 1 bit eronat la un miliard de biţi transmişi.

Exemplu de calcul al bugetului de putere optică

Diametrul fibrei optice:Miez 62.5µm/Înveliş 25µm.
Apertura numerică a fibrei NA:0,275.
Lungimea de undă a echipamentului optic: 1310µm.

Nr. crt.	Pierdere sau Putere Optică	dB
1.	Pierderea pe km în Fibra Optică 1,8dB/km X 3,5km fibră	6,3dB
2.	Pierderea în Joncțiuni 0,5dB/joncțiune X 2 joncțiuni	1,0dB
3.	Pierderea în Conectoare 1,0dB/conector X ___2 conectoare	2,0dB
4.	Pierderi pe alte Componente	0,0dB
5.	Margine de Eroare	2.0dB
6.	Pierderea totală pe Legătură (1+2+3+4+5)	11,3dB
7.	Puterea de Emisie Medie a Emițătorului	-10,0dB
8.	Putere Medie Recepționată de Receptor (7-6)	-21,3dB
9.	Dinamica Receptorului -10,0dB la -30,0dB	
10.	Sensibilitatea Receptorului la o Rată de Erori dată BER 10^{-9}	-26,0dB
11.	Putere Rămasă Disponibilă (8-10)	+4,7dB

Puterea ajunsă la receptor se încadrează în dinamica receptorului, ceea ce face posibilă funcționarea sa, iar puterea rămasă disponibilă este pozitivă ceea ce ne asigură de o legătură viabilă.

Trebuie ținut cont și de faptul că în cursul vieții legăturii pot apare fenomene de îmbătrânire a materialelor, care duc la creșterea pierderilor de putere, precum și de faptul că fibra optică poate fi ruptă accidental și trebuie joncționată.

Un calcul făcut la limită periclitează durata de exploatare a unei legături prin fibră optică.

3.3. Mediile de transmisie nebazate pe fir

Mediile de transmisie nebazate pe fir (*softwire*) sunt și ele folosite în implementarea rețelelor locale de calculatoare, datorită realizărilor recente în domeniul comunicațiilor digitale și a comunicațiilor mobile. De aceea, în multe aplicații, realizarea legăturilor între stațiile rețelei prin folosirea acestor medii, se dovedește utilă. Au apărut astfel rețelele locale fără fir **WLAN** (*Wireless LAN*), care au o evoluție ascendentă în ultimii ani (o descriere mai amănunțită a acestora se face în capitolul 5).

Principalele avantaje oferite de utilizarea mediilor softwire se referă la flexibilitatea oferită la instalarea, reconfigurarea și întreținerea stațiilor, la costul scăzut al legăturilor pentru anumite aplicații. Sunt încă 'puncte slabe', dezavantaje ale folosirii unor astfel de legături, date de vitezele de transmisie posibile, ce nu depășesc uzual 10-16Mbps, deci nu pot concura legăturile bazate pe fir în realizarea rețelelor de mare viteză, și a ratelor de erori destul de ridicate, datorate interferențelor sau atenuării semnalului datorită reliefului sau condițiilor atmosferice.

Mediile softwire folosite în realizarea rețelelor locale de calculatoare sunt:

- undele radio;
- undele hertziene (microundele);
- razele infraroșii.

Legăturile **radio** acoperă un domeniu larg al spectrului electromagnetic de frecvențe, de la 30kHz până la sute de GHz. În telecomunicații se folosesc îndeosebi benzile de frecvențe înalte **HF** (3 - 30MHz), foarte înalte **VHF** (30 - 300MHz) și ultra-înalte **UHF** (0,3 - 3GHz). Utilizarea undelor radio de frecvențe foarte înalte VHF și ultra înalte UHF, conferă avantajele unei bune propagări a semnalului radio, datorat reflexiei și refracției reduse în straturile ionosferei, deci a unei distanțe posibile între stații de până la zeci de kilometri (o valoare uzuală ar fi de 20km). Prezintă însă dezavantaje legate de posibilele interferențe ale semnalului util și de expunerea utilizatorilor la radiațiile electromagnetice. De asemenea nu sunt realizate legături radio ce să ofere viteze de transmisie comparabile cu cele oferite de legăturile bazate pe fir.

Undele hertziene, sau **microundele**, acoperă gama de frecvențe de ordinul zecilor de gigahertzi, mai precis acoperă gama 2 - 40GHz a spectrului electromagnetic de frecvențe. Acest domeniu este împărțit în benzi și atribuit diverselor firme și organizații, în funcție de aplicația implementată. De aceea rețelele locale ce utilizează astfel de legături operează în cadrul unei benzi de frecvențe dedicate. Folosirea legăturilor bazate pe microunde oferă avantajul unei viteze de comunicație comparabilă cu LAN 'clasice', în domeniul de 2-10Mbps, a unei rate de erori acceptabile, datorită lipsei de interferențe în banda de lucru, dar prezintă și dezavantajele unei propagări limitate a semnalului (dezavantaj mai puțin evident în cazul folosirii pentru rețele locale), a atenuării sale datorită condițiilor atmosferice și a expunerii la radiații a utilizatorilor.

Razele **infraroșii** acoperă partea superioară a spectrului electromagnetic de frecvențe, iar legăturile de comunicație folosite în realizarea WLAN utilizează semnal în domeniul sutelor de THz. Avantajele folosirii legăturilor bazate pe raze infraroșii sau raze laser se referă la obținerea unei viteze de transmisie și rate de erori acceptabile, datorită lipsei interferențelor, sau la obținerea unui cost optim pentru anumite aplicații (realizarea trunchiurilor de comunicație între clădiri, în anumite condiții de relief sau de amplasament). Principalul dezavantaj este legat de necesitatea alinierii între stațiile de la capetele legăturii.

3.4. Elemente de cablare structurată a edificiilor

La construirea sau renovarea unui edificiu este indispensabilă implementarea infrastructurii referitoare la transmiterea informației, sub formele ei

variate, precum rețelele de calculatoare, sistemele video, telefonic, de supraveghere, etc. Luând ca exemplu sediul unei universități moderne, problema propusă acestui subcapitol este: cum are loc cablarea atâtor mijloace de transmitere a informației, precum: sistemele de siguranță, rețele locale și terminale independente, telex/telefax, sistemele de alarmă, videoconferencing, controlul ambiental, sistemele de acces, etc. Acest subcapitol introduce standardele internaționale și principalele produse legate de cablarea unei clădiri în care se găsesc și una sau mai multe rețele locale.

Dacă ingineria civilă a introdus de mult timp normativele pentru instalațiile electrice, hidraulice, telefonice, doar în anii '80 au apărut normele pentru 'implantarea' instalațiilor destinate transmisiei de date. Primele norme s-au referit la centralele telefonice digitale, folosite apoi și pentru cablarea rețelelor de calculatoare. Abia în anii '90 s-au elaborat standarde dedicate transmisiei informației prin intermediul rețelelor de calculatoare, aparând conceptul de 'cablare structurată a edificiilor'.

Normativele despre sistemele de cablare (cu referire expresă la rețelele locale), definesc metodele pentru a cabla un edificiu sau un grup de edificii apropiate, prezentând descrieri amănunțite ale:

- caracteristicilor aparatelor electrice, electronice sau optice folosite;
- vitezei de transmisie admise;
- caracteristicilor mediilor de comunicație folosite și a componentelor pasive necesare (conectori, terminatori, elemente de adaptare, îmbinari mecanice, etc.);
- topologiei cablajului (stea, inel, bus) și caracteristici precum nivele de ierarhie, distanțe maxime admise, adaptări între topologii, etc.;
- regulilor de instalare.

Standardele internaționale existente sunt elaborate după anii '85 și se bazează pe experiența în domeniu a firmelor consacrate, precum **IBM** (sistemul propriu *Cabling System IBM*) sau **Digital** (sistemul propriu *DECconnect Digital*). Standardele internaționale (elaborate de organizații internaționale de standardizare) au ca exemplificare, la nivel european, standardul **EIA/TIA 568A,** ce se referă la cablarea edificiilor comerciale, și standardul **EIA/TIA 570** referitor la cablarea edificiilor rezidențiale și a centrelor ce oferă servicii comerciale, tehnice sau financiare, clădiri prezentând însă dimensiuni constructive reduse. Actualmente, organizația pentru standardizare **ISO** dezvoltă un standard de cablare, bazat pe experiența internațională, standard **ISO/IEC 11801**, având titlul *Generic Cabling for Customer Premises Cabling.*

Se prezintă în continuare principalele elemente componente ale standardului 'clasic' **EIA/TIA 568A** (*Commercial Building Telecommunications Cabling Standard*).

Standardul, elaborat în 1991, specifică cerințele minimale pentru cablarea

unui edificiu sau grup de edificii de dimensiuni medii. Standardul are drept scop declarat instituționalizarea unui cadru comun pentru cablarea echipamentelor provenind de la diverși producători, ușurând planificarea și instalarea sistemelor de cablare, și stabilind criteriile tehnice și de performanță necesar a fi îndeplinite de diversele sisteme de cablare.

Specificațiile din standard se referă la:

- cerințele minime pentru realizarea cablării unei cladiri cu un număr de birouri;
- topologia cablării și distanțele permise;
- elementele componente ale cablajului;
- mediile de transmisie folosite și parametri minim necesari;
- canalele pentru cabluri, sau cablarea pe verticală;
- cablarea pe orizontală;
- modurile de identificarea pentru cablurile folosite;
- normele de instalare și documentația necesar a fi întocmită.

Standardul definește un sistem de cablare structurată, compus din șase subsisteme:

- subsistemul de la intrarea în cladire (*entrance facilities*);
- camera cu echipamente (*equipment room*);
- cablarea coloanei vertebrale a sistemului, cablarea pe verticală (*backbone*);
- dulapul pentru telecomunicație (*telecommunication closet*);
- cablarea pe orizontală;
- componentele zonei de lucru (*work area*).

Fiecare subsistem este compus la rândul său din elemente, a căror prezentare se face în continuare.

Cerințe minime

Clădirea ce urmează a fi cablată are (pentru a se putea aplica standardul), următoarele particularități de întindere:

- distanța maximă liniară de 3.000m;
- suprafața maximă acoperită de edificii de 1.000.000 mp.;
- număr maxim de persoane în edificiu de 50.000;
- valabilitatea unui proiect de cablare realizat conform standardului trebuie să fie de minim 10 ani.

Topologia cablării

Topologia cablării este de tip stea, organizată ierarhic; această topologie este aleasă fiindcă este foarte flexibilă, alte topologii, precum cele de inel sau bus, putând fi realizate printr-o topologie stelară. Centrul topologiei stelare, ilustrată de figura 3.8, îl constituie **comutatorul principal** (*main crossconnect*), proiectat pentru întreaga zonă ce este cablată. Al doilea nivel ierarhic îl constituie **comutatorul intermediar** (*intermediate crossconnect*), aferent de obicei unui edificiu al zonei (dacă se cablează un singur edificiu, acesta devine comutatorul principal). La nivelul ierarhic de jos se situează **oficiul pentru telecomunicații** (*telecommunication closet*), asociat unui etaj sau unui grup de încăperi din edificiul cablat.

Elementele cablajului

Elementele constitutive ale cablajului (definite de standard) sunt:

- **comutatorul principal** MC (*main crossconnect*)
  Identifică un centru de distribuție, de la care se distribuie cablurile principale către celelalte edificii sau către diverse planuri de cablare, dacă este vorba de un singur edificiu; figura 3.9 ilustrează o cameră de lucru înzestrată cu echipamentele necesare unui MC.

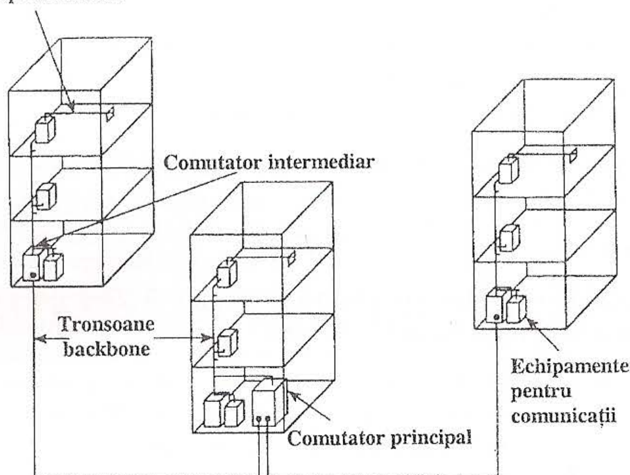


Figura 3.8 Elementele cablajului

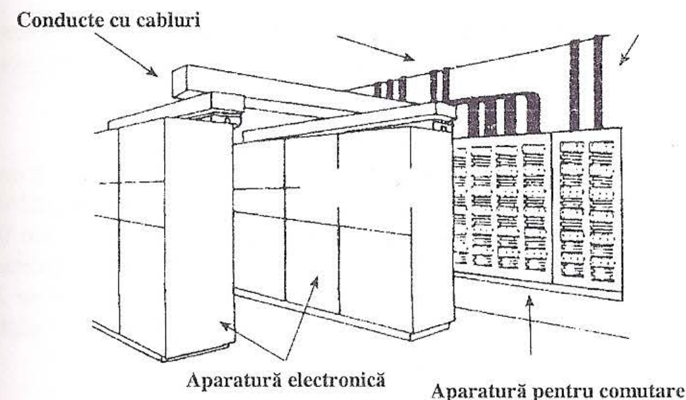


Figura 3.9 Camera cu echipamente

- **comutatoarele intermediare** IC (*intermediate crossconnect*)
  Sunt locale edificiilor, identificând dulapurile de distribuție ale cablurilor către diverse planuri de cablare.

- **oficiul pentru telecomunicații**, (*telecommunication closet*)
  Reprezintă elementele (dulapurile) de distribuție locale, pentru cablurile la care se conectează stațiile (posturile) de lucru, sau pentru cablurile aferente cablării pe verticală. Fiecare dulap de distribuție conține panouri pentru conectare (*patch panels*) alcătuite din blocuri de elemente de conectare.

- **tronsonul inter-edificii** (*interbuilding backbone*)
  Identifică cablurile principale ce interconectează centrul de distribuție principal (centrul stelei) de celelalte edificii.

- **tronsonul intern** (*intrabuilding backbone*)
  Conectează comutatorul intermediar (al edificiului) cu oficiile de distribuție.

- **încăperea cu echipamente** (*equipment room*)
  Este aferentă unui plan de cablare, conține aparate pasive din punct de vedere al telecomunicației (panouri de permutare, conducte pentru cabluri, aparate indicatoare) sau active (centrala telefonică, concentratoare pentru rețelele locale, aparatură audio-video).

- **infrastructura pentru intrare** (*interbuilding entrance facility*)
  Cuprinde interfațarea sistemului de cablare exterior cu cel al coloanei vertebrale pentru cablarea interioară; între acestea se

găsesc elementele utilizate pentru asigurarea protecţiei electrice, mai ales a împământării, pentru componentele tronsoanelor inter-edificii.

- **zona de lucru** (*work area*)
  Identifică posturile (staţiile) de lucru (calculatoare, terminale, telefoane), cablurile de conectare ale acestora la sistemul de cablare (*patch cables*), adaptoarele externe între cabluri (de tip balun, de exemplu); se identifică astfel toate elementele de conectare externe dulapului de telecomunicaţii. Toate aceste elemente trebuie să fie uşor accesibile şi să asigure o interconectare simplă.
- **panouri intermediare** (*patch panels*)
  Identifică panourile de conectare/permutare pentru mediile de transmisie (cabluri coax sau perechi de fire răsucite), sau panourile cu conectorii de trecere (barrel) pentru fibrele optice.
- **blocuri cu terminatori** (*wiring block*)
  Reprezintă terminatorii mecanici ai cablurilor.
- **prizele pentru comunicaţie** (*telecommunication outlets*)
  Reprezintă prizele de conectare a utilizatorului (staţiei de lucru) la sistemul de cablaj, şi poate conţine doi sau mai mulţi conectori (o zonă de lucru are cel puţin doi conectori, unul pentru voce şi unul pentru date).
- **adaptoarele pentru cablaj**
  Sunt fie pasive (pentru adaptarea diverselor tipuri de conectori sau cabluri), precum cablurile adaptoare, diverşi conectori (adaptorul în "Y", adaptorul balun), fie active, folosite pentru adaptarea diverselor sisteme de transmisie (convertoare între interfeţe de transmisie diferite, precum între RS232 şi RS423, minimodemuri, etc.).

Figura 3.10 prezintă un binecunoscut adaptor pasiv, numit adaptorul în 'Y'.

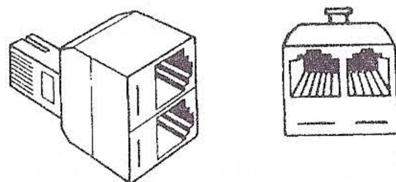


Figura 3.10 Adaptorul Y

Mediile de transmisie

Mediile de transmisie admise de standard sunt:

- cablul coaxial de 50Ω, cunoscut de la reţelele Ethernet (mai puţin folosit în prezent);
- fibra optică multimodală cu dimensiuni 62,5/125 µm şi cea unimodală la 8,3/125µm;
- cablurile torsadate, fie cele fără ecranare **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*) cu impedanţa de 100Ω, precum UTP cu patru perechi de fire, sau multi-pereche (cablu cu 25 perechi), dar de categorie mai mare decât 3, fie cablurile torsadate cu ecranare **STP** (*Shielded Twisted Pair*) cu impedanţa de 150Ω.

Cablarea pe verticală

Tronsoanele de cabluri pot interconecta edificii diverse (*interbuilding backbone*) sau planuri (etaje) de cablare diferite în cadrul unui edificiu (*intrabuilding backbone*), realizând coloana vertebrală a sistemului de cablare a unei clădiri. Standardul specifică valorile maxime ale lungimilor tronsoanelor, fie direct între comutatorul principal (**MC**) şi oficiul de telecomunicaţii (**TC**), fie între ele şi comutatoarele intermediare (**IC**) folosite (figura 3.11). Aceste lungimi variază în funcţie de mediile de transmisie folosite. Spre exemplificare, pentru cablul coaxial de 50Ω, pentru thick Ethernet, distanţa maximă între comutatorul principal şi oficiul de telecomunicaţii nu poate depăşi 500m, la fel între două comutatoare intermediare. Pentru cablul UTP, distanţa maximă este de 800m (dacă el este folosit pentru telefonie), cablul STP folosit pentru date, nu poate depăşi 700m, fibra optică multimod 62,5/125 poate fi desfăşurată pe o lungime de până la 2.000m, iar cea unimod 8,3/125 până la 3.000m.

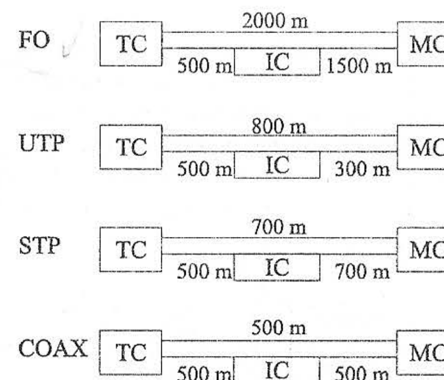


Figura 3.11 Distanţe admise la cablarea pe verticală

Cablarea pe orizontală

Cablajul pe orizontală se referă la conectarea posturilor de lucru la dulapul de distribuţie local, cablurile folosite trebuind să asigure serviciile integrate. Topologia cablării pe orizontală este şi ea stelară, elementul de comutare central fiind oficiul de telecomunicaţii local **TC** (*telecommunication closet*), iar razele stelei fiind legăturile către staţiile finale de lucru, legături realizate prin intermediul prizelor de conectare. Distanţele maxime statuate se referă la maxim 90m între TC şi prize, şi maxim 3m de la priză la staţie (realizat prin cablu de conectare *drop cable*), elemente ilustrate de figura 3.12.

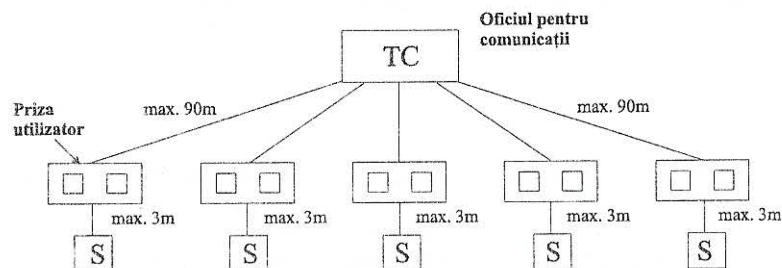


Figura 3.12 Distanţe la cablarea pe orizontală

Pentru cablarea pe orizontală, cele mai folosite medii sunt: cablul UTP cu patru perechi de fire, cablul STP cu două perechi, cablu coaxial de 50Ω subţire (thin Ethernet), sau fibra optică multimodală 62,5/125μm. În cazul cel mai întâlnit, conectorii mamă sunt plantaţi pe perete, în apropierea staţiilor de lucru, de la care sosesc firele de legătură de la echipamente, fire terminate printr-un conector tată.

Conectorii folosiţi pentru diferitele tipuri de cabluri folosite la cablarea pe orizontală şi verticală sunt:

- conectori RJ45 pentru cabluri UTP cu patru fire, ilustraţi de figura 3.13, iar posibilele poziţii în jack a firelor date de figura 3.14;
- conectori hermafrodiţi pentru cabluri STP cu două fire;
- conectori 'N' pentru cablurile coaxiale montate pe perete;
- conectori 'BNC' pentru cablurile coaxiale de distribuţie pe orizontală;
- conectori pentru fibra optică, de obicei conectori tip baionetă cu cheie (variabilă) de inserţie, de tip 'ST'.

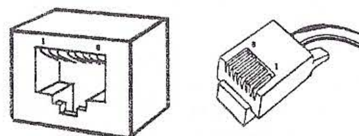


Figura 3.13 Conectori RJ45

Normele de instalare

Normele de instalare cele mai importante se referă la:

- instalarea cablurilor, ca de exemplu a cablurilor UTP (tensiunea maximă admisă pe fir, modul de conectare mecanic al firelor);
- cablarea orizontală mascată ('sub-mochetă') - se recomandă un acces facil la fire, o distanţă minimă faţă de cablurile de alimentare sau de putere, o izolare mecanică corespunzătoare;
- protecţia prin împământare, respectiv protecţia specifică cablurilor cu fibre optice.

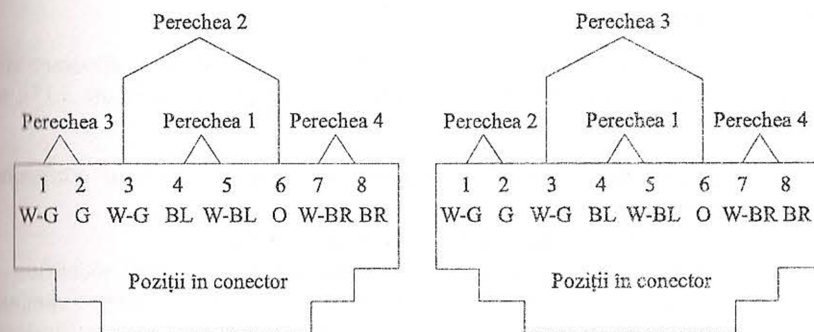


Figura 3.14 Poziţia firelor în jack

Identificarea cablurilor

Din raţiuni de întreţinere şi pentru a uşura dezvoltările ulterioare, metodologia de identificare a cablurilor trebuie să devină unitară. Standardul statuează modul de numerotare pentru identificarea unui cablu şi modul de construire al identificatorului unui post de lucru şi al cablului asociat.

Pentru un cablu din cadrul unui tronson, identificatorul constă din două câmpuri numerice: unul propriu-zis pentru cablu şi unul pentru identificarea numărului de perechi de fire răsucite sau de fibre optice din care este alcătuit.

Pentru un post de lucru şi cablul de conectare asociat, standardul prevede un şir alfanumeric, cu următoarele câmpuri:

- referirea la zona (etajul, de exemplu) din edificiu unde se găseşte postul de lucru (şir alfanumeric);
- referirea la oficiul de distribuţie unde este legat postul de lucru (număr);
- identificator numeric pentru postul de lucru;
- identificatorul dulapului de distribuţie local.

Un exemplu pentru codul unui post de lucru situat în cadrul Universității Tehnice clujene:

"OBS0212F

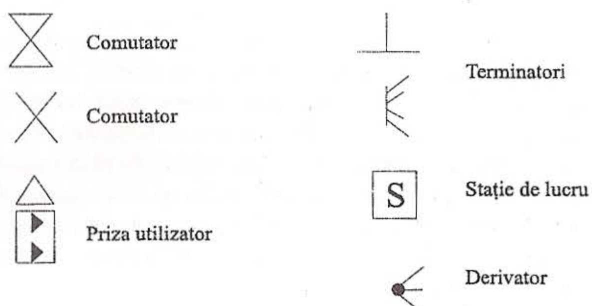
unde:

- OBS indică numele edificiului, clădirea Observator în acest caz;
- 02 indică etajul unde este situat postul de lucru;
- 12 este indicativul postului de lucru;
- F reprezintă indicativul dulapului de distribuție la care este legat postul de lucru.

Documentația proiectului

Pentru orice proiect de cablare este nevoie de a se furniza o documentație (bazată pe terminologia și prescurtările standard – exemplu dat de figura 3.15), ce cuprinde:

- desenul logic al cablării în interiorul campusului sau al edificiului (exemplu în figura 3.16);
- tabela pentru identificarea tronsoanelor verticale;
- tabela pentru fiecare dulap de distribuție local, pentru identificarea cablurilor către posturile de lucru (antetul tabelului va conține câmpuri precum: identificatorul postului de lucru aferent cablului, identificatorul panoului de conectare din dulap, numărul blocului de conectare în cadrul panoului, poziția de conectare în cadrul blocului, numărul de identificare pentru perechea (perechile) de fire răsucite sau fibră optică activă, după cum este folosit pentru telefon sau date).



Prescurtări folosite:

MC	Comutator principal	IC	Comutator intermediar
ER	Camera echipamente	EF	Infrastructura la intrare
TC	Dulap pentru comunicații	WA	Zona de lucru

Figura 3.15 Terminologie și prescurtări

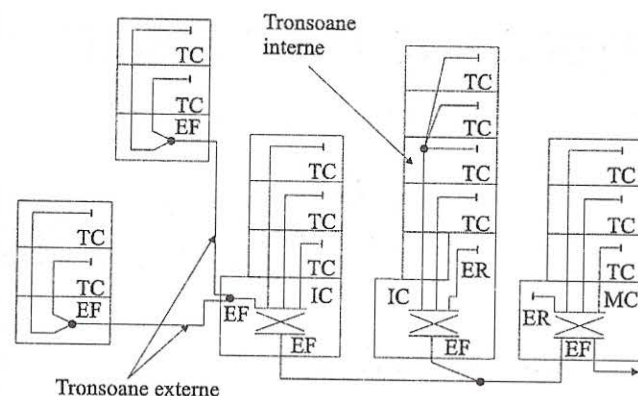


Figura 3.16 Desenul logic al cablării

4. REȚELE LOCALE CLASICE

Capitolul prezintă sintetic standardele și aspectele practice legate de rețelele locale de tip **802.x**, rețele devenite deja 'clasice', începând însă cu prezentarea celei mai răspândite variante de rețea locală, rețeaua **Ethernet**.

4.1. Rețeaua Ethernet

4.1.1. Rețeaua Ethernet și standardul IEEE 802.3

În anii '70, trei dintre marile companii producătoare de echipamente de calcul (**Digital Equipment Corp., Intel Corp.** și **Xerox Corp.**) au format un consorțiu, numit **DIX**, de la inițialele firmelor, pentru a dezvolta o rețea de tip LAN. Primele rezultate au apărut la începutul anilor '80, prin lansarea rețelei **Ethernet v.1.0**. Câțiva ani mai târziu a apărut specificația versiunii **Ethernet v.2.0**, specificație ale cărei aspecte teoretice stau la baza definirii conceptelor aferente unei rețele locale.

Bazat pe această specificație, organismul de standardizare **IEEE** a inițiat dezvoltarea unui standard, numit **IEEE 802.3**, adoptat apoi ca standard și de **ISO**, prin elaborarea **ISO 8802.3**. Standardul, deși se bazează pe specificația originală Ethernet v.2.0, diferă în câteva aspecte, fie de natură logică, la nivelul **Legăturii de date**, fie electrică, la nivelul **Fizic**.

În timp, referitor la orice produs, apar modificări și îmbunătățiri constructive, de aceea IEEE duce o activitate continuă de ameliorare a standardului, publicând anual anexele suplimentare necesare.

Figura 4.1 prezintă relația între o rețea Ethernet v.2.0, standardul IEEE 802.3 și alte standarde IEEE 802.

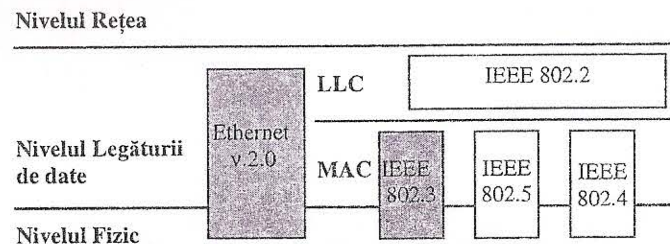


Figura 4.1 Relația arhitecturală Ethernet - IEEE 802.x

Figura pune în evidență faptul că cele două specificații (Ethernet v.2.0 și IEEE 802.3) acoperă amândouă în ierarhia de protocoale, nivelul **Fizic** și subnivelul accesului la mediu **MAC**.

La nivel **Fizic**, ambele rețele (variantele clasice) se bazează pe o topologie de tip magistrală, realizată cu cablu coaxial, și functionează la o viteză de 10Mbps.

La nivelul **MAC**, ambele implementează metoda de acces la mediu **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection*).

Diferența se manifestă la implementarea altor funcții ale nivelului **OSI Legătură de date**, respectiv ale celor aferente subnivelului **LLC**: dacă standardul IEEE 802 prevede un standard special, numit 802.2, care implementează funcțiile LLC (standardul fiind comun și pentru alte standarde 802 la nivel MAC), specificarea (standardul 'de facto') Ethernet v.2.0 prevede în același corp și aceste funcții.

4.1.2. Metoda de acces la mediu CSMA/CD

Metoda de acces la mediu **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*), operează, cum arată și denumirea, în trei faze:

- sesizarea purtătoarei (*carrier sense*)
  Implică ca orice stație care dorește să transmită, trebuie să 'asculte' întâi magistrala, pentru a determina dacă este ocupată; principiul se poate numi 'ascultă înainte de-a vorbi' (*listen before talking*).

- accesul multiplu
  Orice stație care a ascultat magistrala și a detectat că este liberă (a detectat purtătoarea pe linie), poate iniția o transmisie. La inițierea (cvasi)simultană a transmisiei pe linie de către două sau mai multe stații, datorită timpului nenul de propagare a semnalului în mediu, apare coliziunea, care va afecta ambele semnale de date, deci transmisia este compromisă.

- detectarea coliziunii (*collision detection*)
  Este realizată de către fiecare stație care este în transmisie, deoarece fiecare stație ascultă linia în timpul transmisiei (*listen while talking*).

La detectarea unei coliziuni, prima stație care o detectează, va suspenda emisia și va emite în linie un semnal special, care anunță interferența transmisivă (*jamming*), de frecvență diferită și de o lungime echivalentă transmisiei a 32 biți (pentru 802.3) sau 32-48 biți pentru Ethernet v.2.0. Acest

semnal va permite ca toate stațiile care sunt conectate la mediu să ia cunoștință despre coliziune, suspendându-și activitatea. Durata de așteptare până la reluarea pașilor pentru transmisie este variabilă, dată de un algoritm de revenire (*back-off algorythm*) - în fapt un algoritm exponențial binar trunchiat, care dă valoarea timpului de așteptare *t*, la a *n*-a încercare, valoare aleasă arbitrar în intervalul $0< t < 2^k$, unde $k=min(n,10)$. Numărul de reîncercări pentru transmisie este și el limitat (la 16).

Domeniul de manifestare al coliziunii este rețeaua locală însăși, în sensul că stațiile separate (sau nu) de repetoare vor face parte din domeniul de acțiune al coliziunii, pe când stațiile separate prin punți (*bridges*), rutere (*routers*) sau alte porți de interconectare (*gateway*), fac parte din domenii de coliziune diferite, pentru că aceste elemente de interconectare nu propagă semnalul de coliziune.

Deși teoretic metoda de acces CSMA/CD are o eficiență de 30%, practic s-a observat că metoda funcționează optim pentru o încărcare de 30% (deci la 3Mbps), cu vârfuri de funcționare optimă până la 6Mbps. La 3Mbps se poate spune că nu este pachet care să fie descărcat din cauza imposibilității de acces la mediu. De asemenea este de recomandat ca rețeaua să posede un număr mic de stații, dar care să fie puternic active, decât să posede multe stații, dar mai puțin încărcate.

Din algoritmul metodei de acces CSMA/CD se extrage un parametru esențial pentru buna funcționare a sa, cu implicații asupra formatului unităților de date și a distanței maxime între două stații; este vorba de parametrul întârziere de propagare a semnalului de coliziune (*Round Trip Collision Delay*). Pentru corecta funcționare practică a algoritmului, este necesară asigurarea condiției ca stația transmițătoare să ia cunoștință de o eventuală coliziune, înainte de a termina transmisia curentă. Această condiție trebuie să fie valabilă independent de lungimea cadrului transmis (trebuie să funcționeze deci și pentru cel mai scurt cadru posibil a fi transmis), cât și independent de distanța între stații (valabilă și pentru două stații cele mai îndepartate). Astfel se desemnează cazul critic.

Cazul critic este constituit de următoarea situație, ilustrată de figura 4.2:

- stațiile A și B sunt la extremitățile rețelei, iar pe parcurs se găsesc un număr de repetoare;
- stația A inițiază transmiterea unui cadru către stația B;
- când cadrul este foarte aproape de stația B, aceasta inițiază și ea o transmisie;
- are loc o coliziune în imediata vecinatate a stației B;
- semnalul de coliziune se propagă către stația A;
- stația A detectează coliziunea și oprește transmisia în curs.

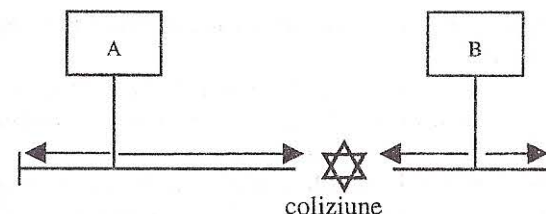


Figura 4.2 Calculul cazului critic

Întârzierea de propagare a coliziunii (calculată prin adunarea timpului necesar ca semnalul de date să parcurgă traseul de la stația A la stația B, cu timpul necesar semnalului de coliziune să străbată traseul de la stația B la stația A), a fost standardizată la valoarea de 49,9μs. De aici se poate deduce că un pachet cu lungimea minimă de 512 biți (64 octeți), pentru o viteză de transmisie de 10MHz, necesită pentru transmisie un timp de 51,2μs, deci se îndeplinește condiția ca timpul de transmitere a cadrului să fie mai mare decât întârzierea coliziunii.

De asemenea se poate estima că între două stații nu poate fi o distanță mai mare decât o valoare D_{max}, calculată după următorul algoritm. Semnalul de date se consideră că se propagă între stațiile A și B în 22,8μs, iar semnalul de coliziune, având alți parametri temporali, se propagă până la stația A în 27,1μs (de unde rezultă valoarea sumei de 49,9μs). Cum distanța maximă se calculează prin produsul dintre viteza semnalului electric în mediu (cu o valoare acceptabilă de 0,66*c*, unde *c* este viteza de propagare a luminii) și timpul de propagare a datelor într-un sens al rețelei, rezultă valoarea:

$$D_{max} \approx 4.500\text{m}.$$

Calculul este valabil pentru medii electrice bazate pe cablu. Prin utilizarea însă de segmente de fibră optică, pentru care viteza de propagare a semnalului purtător de informație este mai mare, această distanță poate fi îmbunătățită.

Operațiile efectuate pentru implementarea acestei metode de acces la mediu sunt:

- transmisia de pachete (cadre), operație care implică ca subnivelul **MAC** să accepte un pachet de la nivelul superior, și să formeze pe baza lui fluxul de biți transmis serial către mediul fizic de comunicație;
- recepția de pachete (cadre), operație prin care subnivelul **MAC** recepționează fluxul de biți de la nivelul **Fizic** și formează pachetul pe care-l înaintează nivelului superior, prin punctele de acces la servicii corespunzătoare; în caz de eroare de adresare, pachetul va fi descărcat;

- aşteptarea pentru inițierea transmisiei, până la eliberarea canalului de transmisie;
- generarea la transmisie şi interpretarea la recepție, a câmpului de control al erorii **FCS**, din cadrul de date format sau primit;
- recunoaşterea unei coliziuni;
- spațierea temporală corespunzătoare cadrelor transmise (*inter-frame spacing*); pentru recunoaşterea sfârşitului unui cadru şi separarea sa de cadrul următor, este necesar un timp minim de aşteptare, înainte de a transmite următorul cadru;
- planificarea retransmisiei după detectarea unei coliziuni, în funcție de algoritmul de regresie (*back-off*);
- emiterea unui semnal special de anunțare a detectării coliziunii (*jamming*), semnal pus în linie după încetarea transmisiei curente;
- verificarea lungimii cadrului recepționat, pentru verificarea condiției de lungime minimă acceptată a cadrelor (64 octeti), dar şi a depăşirii lungimii maxime admise (se mai numeşte şi funcția de *jabber*);
- generarea, la emisia fiecărui cadru, a unui câmp preambul pentru sincronizare, respectiv eliminarea sa în procesul recepției cadrului.

4.1.3. Standardul 'de facto' Ethernet v.2.0

Cum arată şi figura 4.1, standardul 'de facto' Ethernet v.2.0, nu urmăreşte în totalitate filozofia standardelor 802.x, şi în primul rând nu adoptă subnivelul **LLC** ca şi componentă pentru nivelul teoretic **Legatură de date**. Figura 4.3 ilustrează interacțiunea directă între protocoalele nivelelor superioare (nivelul **Rețea** în primul rând) şi Ethernet. Deci componentele standardului Ethernet acoperă nivelele OSI **Fizic** şi **Legătură de date**.

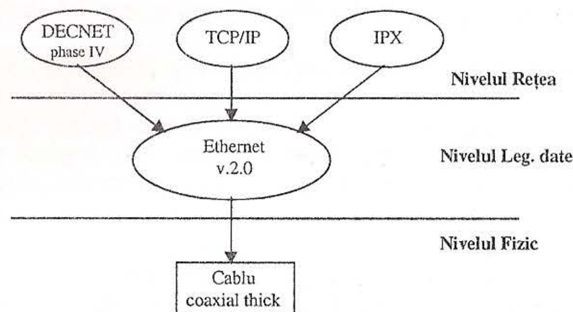


Figura 4.3 Arhitectura Ethernet v.2.0

4.1.3.1. Nivelul Fizic

Rețeaua Ethernet este o rețea în banda de bază, foloseşte codarea Manchester şi operează la viteza de 10Mbps, necesitând un ceas de minim 20MHz..

Principalele caracteristici specificate pentru nivelul **Fizic** sunt:

- viteza de transmisie de 10Mbps;
- distanța maximă admisă între cele mai îndepărtate stații din trunchiul rețelei este de 2,8km, în condițiile utilizării şi a cablului optic, ca element de legătură (*link*);
- maxim teoretic de 1028 de stații legate într-un LAN;
- mediul de transmisie este cablul coaxial gros (*thick*), cu impedanța de 50Ω, de tip RG-213;
- topologia rețelei este de tip magistrală (*bus*).

Stațiile conectate la anumite distanțe una față de cealaltă, pe un cablu de lungime limitată, formează un **segment**. Pentru extinderea lungimii rețelei şi a numărului de stații, segmentele se interconectează prin repetoare active. Acestea operează la nivel **Fizic**, având rolul de a regenera semnalele din rețea (semnale de date, de coliziune). Ele nu influențează domeniul de coliziune al rețelei, propagând semnalul de coliziune. Lungimea unei rețele (trunchiul său) este dată de suma tuturor segmentelor de cablu.

Mediul de transmisie folosit este doar cablul coaxial gros, un segment putând fi constituit dintr-un singur fragment de cablu, sau mai multe fragmente, conectate prin conectoare in-line, de tip 'N'. De remarcat că fragmentele de cablu trebuie să aibă lungimi definite (23,4m, 70,2m şi 117m).

Principalii parametri ai cablului sunt:

- diametrul cablului de 0,4" (≈1cm);
- impedanța cablului trebuie să fie de 50±2Ω;
- viteza de propagare a semnalului electric prin cablu să fie de minim 0,77*c*, cu *c* reprezentând viteza luminii;
- atenuarea maximă a unui segment de max. 8,5dB, pentru frecvența de 10MHz.

Cablul este rigid, neputând fi îndoit pentru a fi adus în apropierea stațiilor de lucru. Este tipică cablarea sa pe perete. Cablul original Ethernet este de culoare galbenă şi este marcat la intervale de 2,5m, pentru a se indica locul unde să se amplaseze transceiver-ele (interfețele pentru conectare).

La capetele fiecărui segment trebuie ataşați terminatori cu impedanța de 50Ω, pentru a suprima interferențele electrice din cablu; unul dintre terminatori trebuie legat la împământare.

Fibra optică nu este acceptată ca mediu propriu-zis, ea este folosită doar pentru extindere, şi aşa doar pentru o lungime limitată la 1.000m. Ea constituie

legătura între două segmente de cablu coaxial, segmente considerate legate între ele, prin repetoare la distanţă.

4.1.3.2. Nivelul Legăturii de date

Principalele funcţii îndeplinite de Ethernet v.2.0, relative la nivelul **Legăturii de date**, sunt cele enumerate în capitolul 2, referitor la substratul MAC al reţelelor locale, respectiv la implementarea metodei de acces CSMA/CD.

Formatul unui pachet (cadru) Ethernet este ilustrat în figura 4.4.

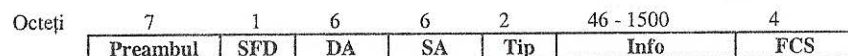


Figura 4.4 Formatul unui cadru Ethernet

Cadrul Ethernet are o lungime variabilă, cuprinsă între 64 şi 1518 octeţi. Valoarea minimă este calculată din considerente de detectare a coliziunii, iar cea maximă din considerente de timp de ocupare a mediului.

Câmpul **Preambul**

Primul câmp al pachetului este câmpul **Preambul**, cu o lungime de 7 octeţi, necesar staţiilor care primesc pachetul pentru a se sincroniza cu ceasul staţiei transmiţătoare.

Câmpul **SFD**

Urmează câmpul **SFD** (*Start Frame Delimiter*), delimitator de început de cadru, care conţine, pentru corecta sa interpretare, şi biţi de non-date, biţi având o codificare Manchester diferită de codificarea pentru biţii de informaţie 0 sau 1. Sunt uzual notaţi J şi K, şi ei nu prezintă tranziţie la mijlocul perioadei de bit.

Câmpurile **DA** şi **SA**

Câmpurile de adrese ale staţiei destinaţie **DA** (*Destination Address*) şi staţiei sursă **SA** (*Source Address*), sunt câmpuri de 6 octeţi.

Câmpul **Tip**

Conţine un cod al protocolului de nivel superior care este generatorul sau destinatarul unităţii de date conţinute în câmpul de informaţie **Info**; unitatea de date este încapsulată deci în pachetul Ethernet. Câteva coduri ale protocoalelor cele mai semnificative sunt date de tabelul 4.1.

Valoare camp (hexa)	Tip protocol
0000-05DC	Câmp **Lungime** pentru IEEE 802.3
0600	Xerox
0800	DoD IP
0801	X.75
0805	X.25 Level 3
0806	ARP

Tabel 4.1 Coduri pentru diverse tipuri de protocoale de nivel superior

Câmpul **FCS** (*Frame Control Sequence*)

Este de 32 de biţi şi reprezintă valoarea sumei de control CRC, calculată pentru câmpurile anterioare.

Se remarcă faptul că pachetul nu prevede un câmp de sfârşit de cadru, asemănător cu câmpul începutului de cadru **SFD**, acest rol fiind jucat de spaţierea între cadre, tipică unei reţele Ethernet, care prevede un interval minim temporal între două cadre consecutive, de 9,6µs (valoarea standard pentru parametrul **IPG** – *Inter Packet Gap*).

4.1.3.3. Elemente constructive

Elementele constructive de bază ale unei reţele **Ethernet v.2.0**, sunt:

- interfaţa Ethernet, sau controller-ul de reţea;
- transceiver-ul, sau elementul (unitatea) de ataşare la mediu, care interacţionează efectiv cu mediul de transmisie; în terminologia IEEE se foloseşte numele unitate de ataşare **MAU** (*Medium Attachment Unit*);
- cablul transceiver, numit şi cablu drop; standardul 802 foloseşte terminologia **AUI** (*Attachment Unit Interface*).

Figura 4.5 ilustrează cele trei elemente constructive şi principalele lor funcţii, iar figura 4.6 prezintă un exemplu practic de implementare, folosind circuitele Intel: coprocesor LAN 82586, interfaţa serială 82501, circuitul transceiver 82502.

Interfaţa Ethernet, sau controller-ul de reţea, este modulul care asigură conectarea unui calculator (staţie de lucru) la transceiver, făcându-se astfel legătura între magistrala internă a staţiei şi elementul de ataşare la mediu. Ea îndeplineşte următoarele funcţii principale:

- asigură interfaţa către magistralele interne ale staţiei şi respectiv către transceiver;
- asamblarea/dezasamblarea cadrelor, controlul adresării şi al erorii;

- încapsularea/decapsularea datelor în/din formatul cadrelor Ethernet;
- gestionarea legăturii, respectiv implementarea algoritmului de acces la mediu;
- codificare/decodificare din NRZ în Manchester.

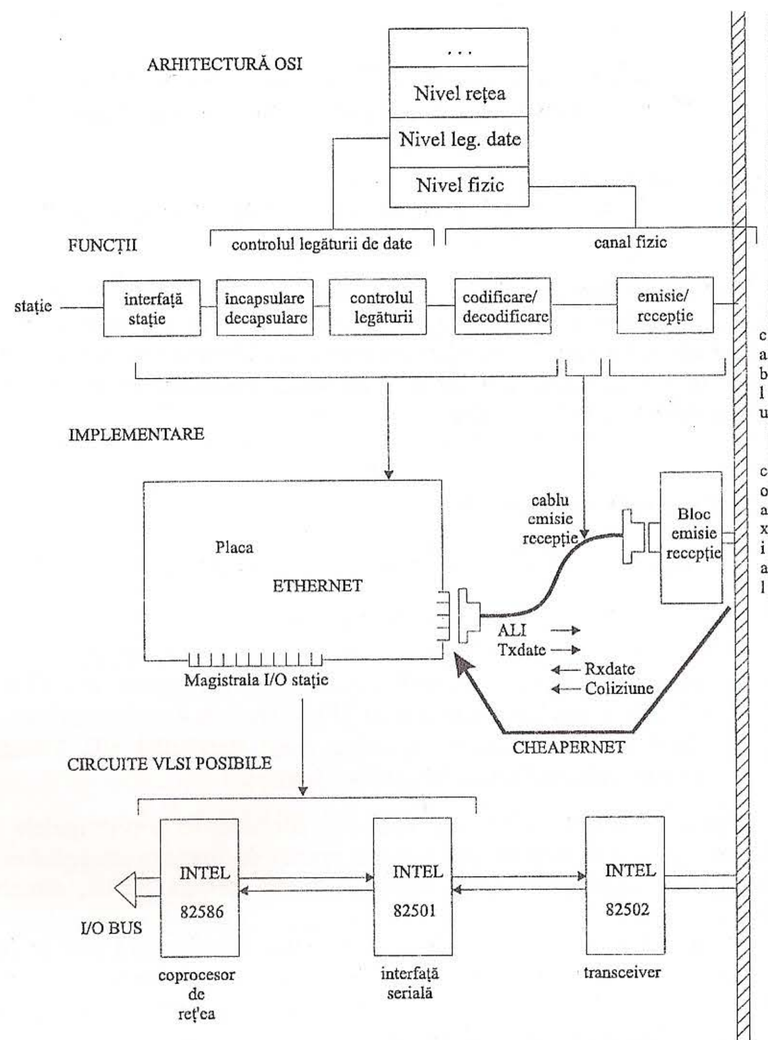


Figura 4.5 Elementele constructive

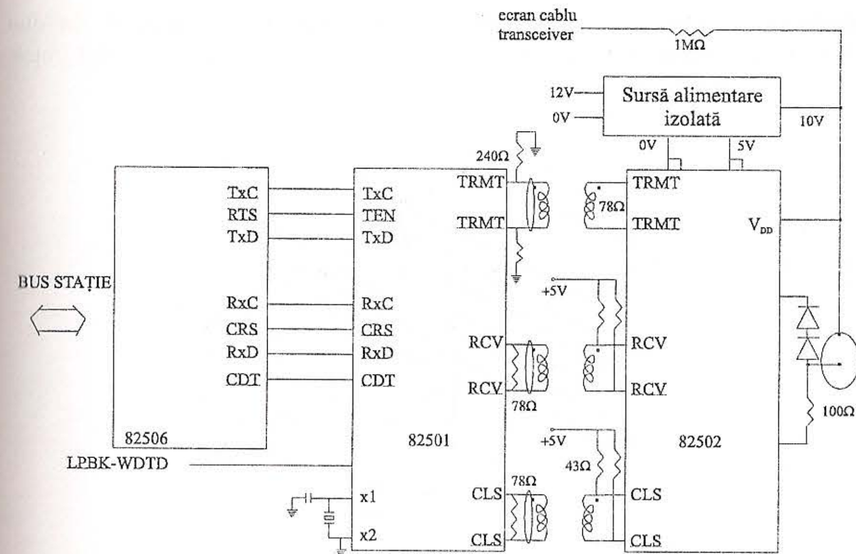


Figura 4.6 Implementarea cu circuite Intel

Transceiver-ul este elementul care permite atașarea la mediu, facând legătura între interfață și mediu. Interfața este conectată la transceiver prin intermediul cablului transceiver. Principalele operații îndeplinite de transceiver sunt:

- transmiterea de date către mediu, date primite de la interfață și transmise în mediu prin intermediul unor circuite de formare a semnalelor electrice;
- recepția datelor din mediu;
- receptarea semnalului de coliziune din mediu și transmiterea către interfață a unui semnal corespunzător; după fiecare transmisie de cadru, driver-ul de tratare a coliziunii din transceiver generează un semnal de test **CPT** (*Collision Presence Test*, sau *Heartbeat*), cu scopul de testare a circuitului de sesizare a coliziunii și de avizare a interfeței despre corecta funcționare a acestuia;
- implementarea funcției de *jabber* (detectarea transmisiilor prea lungi, datorate unor cadre ce depășesc lungimea maxim admisă);
- generarea semnalului de alimentare electrică către cablu și circuitele elctrice interne, format din alimentarea primită de la interfață; se asigură însă separarea galvanică între transceiver și interfață.

Conectarea mecanică a transceiver-ului la cablul coaxial se face prin intermediul unui conector de tip 'vampir' (*tap*), ce prevede un șurub care

perforează cablul în punctul dorit şi atinge conductorul central al cablului coaxial, realizând astfel contactul necesar procesării semnalului din reţea. Figura 4.7 prezintă acest conector.

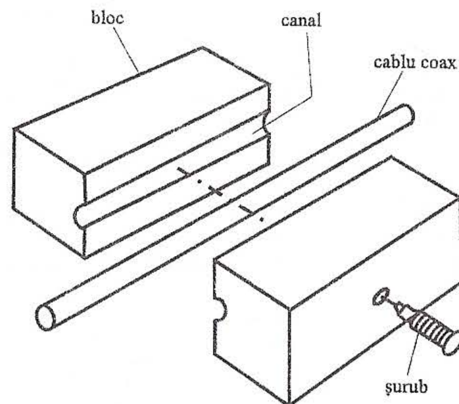


Figura 4.7 Conector vampir

Cablul transceiver uneşte placa de interfaţă cu transceiver-ul; el conţine perechi de fire pentru transmisia şi recepţia datelor, pentru semnalul de coliziune, pentru alimentarea electrică. Nivelele logice ale semnalelor sunt nivele **ECL**. Conectorul ataşat este un conector miniatură de 15 pini.

4.1.3.4. Reguli de configurare

Câteva reguli practice de configurare ale reţelei **Ethernet v.2.0** (ilustrate şi de figura 4.8):

- lungime maximă segment coaxial de 500m;
- lungime maximă cablu transceiver de 50m;
- distanţa minimă între două transceivere de 2,5m;
- numărul maxim de staţii legate la un segment este de 100;
- maxim două repetoare între oricare două staţii, datorat faptului că repetoarele Ethernet nu regenerează preambulul folosit pentru sincronizare (precum repetoarele 802), ci pierd părţi din el, îl 'scurtează' la fiecare trecere;
- obligativitatea terminatorilor de reţea, cu impedanţa de 50Ω, pentru asigurarea reflexiei semnalului.

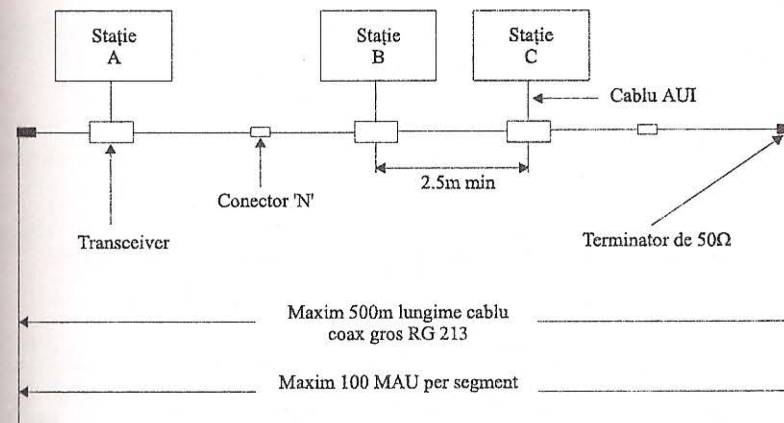


Figura 4.8 Reguli de configurare

4.2. Reţele CSMA/CD şi standardul IEEE 802.3

Standardul **IEEE 802.3**, recunoscut şi **ISO 8802.3**, cuprinde o ierarhie formată din următoarele protocoale:

- un protocol pentru nivelul **Fizic** (de fapt un evantai de protocoale posibile a se folosi pentru nivelul **Fizic**);
- un protocol pentru subnivelul **MAC**, bazat pe algoritmul de acces la mediu CSMA/CD şi acceptând ca protocol al subnivelului **LLC** superior, standardul IEEE 802.2 (ierarhia este ilustrată de figura 4.9).

Standardul 802.3 s-a bazat iniţial, la nivel **Fizic**, pe o arhitectură de tip magistrală cu cablu coaxial, şi a evoluat către topologie de stea, bazată pe cablu torsadat UTP şi fibră optică. Vitezele de transmisie prevăzute de standard pentru diversele variante de medii sunt de 1Mbps, pentru varianta 1Base5, şi 10Mbps, pentru versiunile:

- 10Base5, 10Base2, 10Broad36, toate bazate pe cablu coaxial;
- varianta 10BaseT pentru cablul cu perechi de fire răsucite UTP;
- pentru fibra optică există versiuni precum FOIRL, 10BaseFP, 10BaseFB, 10BaseFL.

Reţelele care lucrează la viteze peste 10Mbps sunt considerate reţele de mare viteză, şi sunt prezentate sub denumirea de LAN de mare viteză **HSLAN** (*High Speed LAN*), în capitolul 5.

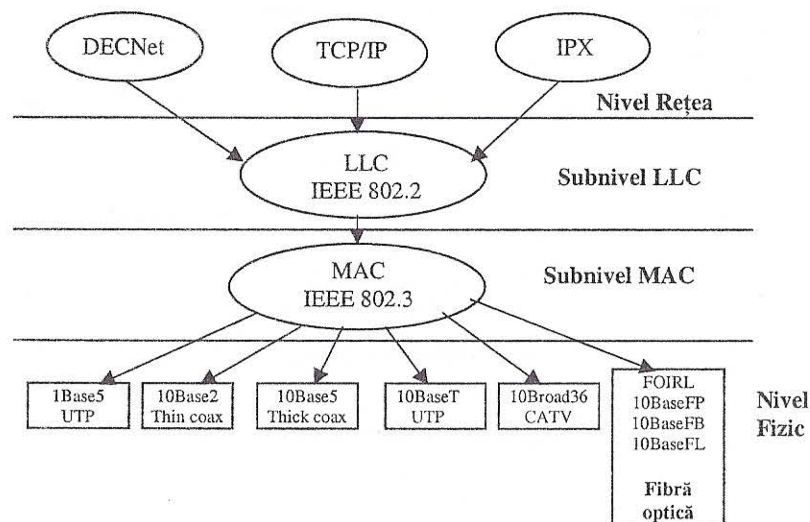


Figura 4.9 Ierarhia IEEE 802

4.2.1. Nivelul Fizic

Nivelul **Fizic** al standardului îndeplinește asupra datelor, în principal, funcția de codificare/decodificare a pachetelor (cadrelor) pentru transmiterea lor în cadrul unui flux de biți, utilizand codificarea Manchester. Protocolul la nivelul **Fizic** se ocupă însă și de specificarea caracteristicilor electrice, mecanice, funcționale, ale elementelor care operează aici, precum transceiver-ul, repetorul, cablul, conectorul.

La modul general, pentru standardul 802.3, nivelul **Fizic** posedă caracteristicile următoare:

- viteza de transmisie de 10Mbps;
- maxim 1024 de stații legate în întreaga rețea;
- medii de transmisie diverse, precum cablul coaxial subțire (*thin coax*), cablul coaxial gros (*thick coax*), cablul torsadat (*twisted pair*), cablul coaxial CATV, cablul optic;
- topologii diverse: magistrală, inel (văzut ca o succesiune de legături punct-la-punct) și stea;
- distanța maximă între două stații din rețea poate ajunge teoretic la 4km, dacă se folosesc tronsoane de cablu optic.

4.2.2. Subnivelul MAC

Funcțiile îndeplinite de subnivelul **MAC** al standardului 802.3 sunt cele enumerate în subcapitolul precedent, referitor la rețeaua Ethernet. Formatul cadrului de date este ilustrat în figura 4.10.

Octeți	7	1	6	6	2	0 - 1500	0 - 46	4
	Preambul	**SFD**	**DA**	**SA**	**Lungime**	**Info**	**PAD**	**FCS**

Figura 4.10 Formatul cadrului 802.3

Cadrul de date MAC 802.3 are o lungime variabilă, cuprinsă între 64 și 1518 octeți.

Câmpul **Preambul**
: Primul câmp al său este câmpul **Preambul**, format din 7 octeți, pe baza căruia are loc sincronizarea stației receptoare cu ceasul stației transmițătoare a respectivului cadru.

Câmpul **SFD**
: Câmpul **SFD** (*Start Frame Delimiter*), delimitator de început de cadru, de un octet, conține biți codificați Manchester non-data (fără tranziție la mijloc de bit), pentru a nu se confunda cu octeți din câmpurile obișnuite de date.

Câmpurile **SA** și **DA**
: Câmpurile de adrese ale stației sursă (câmpul **SA**) și a celei (ale celor) destinație (câmpul **DA**), sunt de lungime de 6 octeți, având structura ilustrată de capitolul 2.

Câmpul **Lungime** (*Length*)
: Indică lungimea câmpului următor, de date (câmpul **Info**).

Câmpul **Info**
: De regulă câmpul **Info** conține pachetul reprezentând unitatea de date a protocolului de nivel superior (LLC-PDU). Dacă lungimea acestui câmp de date nu depășește 46 de octeți, este necesară inserarea unui câmp suplimentar, numit **PAD**, conținând caractere 'pad', care să contribuie prin octeții săi la asigurarea lungimii minime de 64 de octeți pentru un cadru MAC 802.3.

Câmpul **FCS** (*Frame Control Sequence*)
: Conține, precum cadrul Ethernet, valoarea sumei de control pe baza polinomului CRC, calculată pentru câmpurile de date precedente.

Nici aici nu există un câmp marcator (delimitator) al sfârşitului de cadru; rolul său este îndeplinit de pauza de transmisie, sau intervalul de timp între două cadre succesive (*inter-frame gap*), şi care are prin standard stabilită o valoare minimă de 9,6μs.

4.2.3. Elemente constructive

Interfaţa 802.3

Controller-ul de reţea sau interfaţa **802.3** are aceleaşi caracteristici precum interfaţa Ethernet. Deosebirea ar fi că placa de reţea **NIC** (*Network Interface Card*), pentru anumite variante, poate conţine nu numai interfaţa, ci şi circuitele transceiver-ului. În acest caz nu mai există în exterior cablul transceiver (numit prin standardul 802.3, cablu **AUI** (*Attachment Unit Interface*)).

Transceiver-ul

Transceiver-ul, aşa cum este specificat de standardul 802.3, are aceleaşi funcţii precum cele descrise pentru transceiver-ul Ethernet v.2.0. Ele sunt însă incompatibile, datorită temporizării diferite pentru semnalele de test ale coliziunii (durate diferite ale semnalului de test şi ale momentelor generării, faţă de terminarea transmiterii unui cadru); semnalul este numit **CPT/Heartbeat** în terminologia Ethernet şi numit **SQET** (*Signal Quality Error Test*) în cea a standardului 802.3. Din această cauză, nu se poate vorbi de o compatibilitate a interfeţelor Ethernet şi 802.3.

Transceiver-ul 802.3, numit de standard **MAU** (*Medium Attachment Unit*) este compus, ca şi cel Ethernet, din două părţi diferite logic: partea independentă de mediu **PMA** (*Physical Medium Attachment*) şi cea dependentă de mediu **MDI** (*Medium Dependent Interface*).

Repetoare 802.3

Repetoarele, numite convertoare de protocol pentru nivelul **Fizic** OSI, au ca sarcină principală amplificarea semnalului recepţionat (amplificarea este într-un domeniu propriu mediului de transmisie), fără modificarea structurii sale, şi transmiterea semnalului către segmentele următoare.

Repetoarele 802.3 îndeplinesc însă şi funcţii specifice (devenind mai complexe), cum ar fi:

- retemporizarea semnalului, în sensul că asigură ca semnalul transmis mai departe să aibă acelaşi ceas ca şi cel recepţionat, deci nemodificat prin procesul amplificării;

- regenerarea preambulului, în sensul că dacă în procesul sincronizării s-au pierdut biţi din acest câmp, la transmiterea mai departe a cadrului se asigură cei 56 biţi de sincronizare;
- retransmiterea necondiţionată a semnalului de coliziune şi refacerea sa, dacă numărul de biţi al semnalului de coliziune recepţionat a devenit mai mic decât 96;
- detectarea pachetelor prea lungi (eroare de lungime - *jabber*), în sensul că dacă sesizează la transmisie o perioadă continuă mai mare de 5ms, întrerupe transmisia.

Un repetor contează ca o staţie pentru fiecare dintre segmentele conectate şi propagă semnalele de coliziune.

4.2.4. Standardul 10Base2

Standardul specifică elementele de importanţă referitoare la transceiver-ul şi mediul de transmisie folosite, relative la o viteză de transmisie de 10Mbps (număr indicat de primul câmp al numelui standardului), operându-se în banda de bază (al doilea câmp) şi bazat pe segmente de cablu coaxial subţire de 185m, sau circa de 2 ori (cum se indică) câte 100m.

Segmentul 10Base2 este constituit dintr-un cablu coaxial de tip RG58 (cablu subţire - *thin cable*), având următoarele caracteristici:

- are un diametru de 0,2", este flexibil şi subţire, putându-se conecta direct pe placa NIC prin intermediul unui conector 'T' de tip BNC; se poate folosi însă şi varianta cu transceiver separat de placa de interfaţă;
- prezintă o impedanţă de 50±2Ω;
- viteza minimă de propagare a semnalului electric în cablu de 0,65*c*, cu *c* viteza luminii.

Acest tip de cablu este cel mai ieftin şi facil de instalat, de unde provine şi denumirea **Cheapernet** dată acestei reţele.

Standardul specifică următoarele reguli de configurare (ilustrate şi de figura 4.11):

- atenuarea maximă pe segment de 8,5dB la 10MHz, sau de 6dB la frecvenţa de 5MHz;
- lungime maximă segment de 185m;
- distanţa minimă între două dispozitive transceiver de 0,5m;
- număr maxim de staţii legate la un segment de 30;
- număr maxim de segmente de 5;
- obligativitatea folosirii de terminatori de segment, cu impedanţa de

50Ω, pentru blocarea interferenţelor; unul dintre ei trebuie să fie cuplat la împământare.

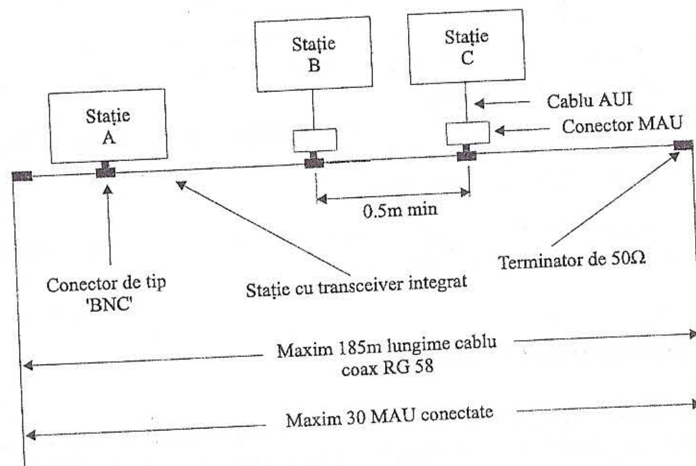


Figura 4.11 Reguli de configurare 10Base2

4.2.5. Standardul 10Base5

Specificaţiile acestui standard se referă la caracteristicile unităţii de ataşare la mediu (**MAU** - transceiver), şi ale mediului de transmisie, relative la o viteză de transmisie de 10MHz (primul câmp al numelui standardului), în banda de bază, şi bazat pe segmente de cablu cu lungime de 500m (de 5 ori 100m, cum este indicat de ultimul câmp al numelui).

Transceiver-ul (unitatea de ataşare la mediu) pentru standardul **10Base5** este foarte asemănător cu cel al standardului Ethernet v.2.0, îndeplinind aceleaşi funcţii şi având o structură electronică asemănătoare.

De asemenea conectorul folosit pentru ataşarea mecanică la mediu (conector de tip *tap*) este identic cu cel folosit de Ethernet şi ilustrat în subcapitolul respectiv. Pe lângă conectarea prin folosirea de conectoare de tip 'vampir', fără tăierea cablului, se mai poate folosi conectarea cap-la-cap, obţinută prin tăierea cablului şi alipirea bucăţilor.

Mediul de transmisie este şi el acelaşi, adică cablul coaxial gros (*thick*), numit şi cablu 'galben', cu impedanţa de 50±2Ω, tip RG213.

Regulile de configurare ale reţelei 10Base5 sunt aceleaşi ca ale reţelei Ethernet v.2.0, şi sunt ilustrate sintetic de figura 4.12.

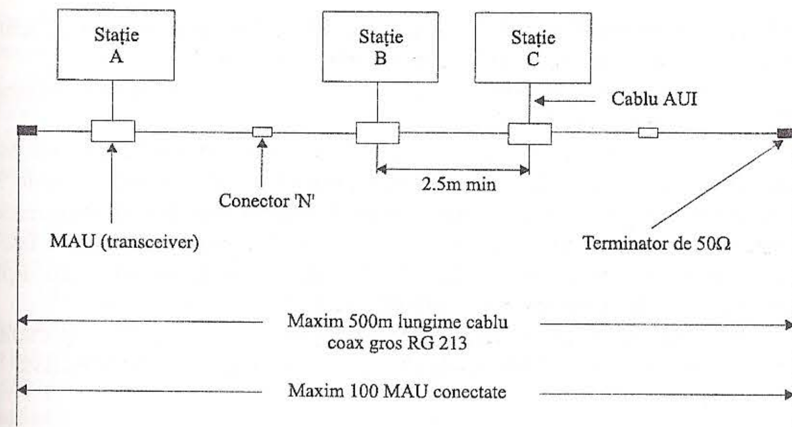


Figura 4.12 Reguli de configurare 10Base5

4.2.6. Standardul 10Broad36

Reţeaua **10Broad36** este, cum semnifică şi indicativul, reţea de bandă largă (banda largă - *broadband* - semnifică tradiţional banda cu o lăţime superioară benzii de frecvenţe standard folosită în telefonie, deci peste 4KHz; în accepţiunea actuală, reţelele cu transmisie în bandă largă sunt echivalentul reţelelor cu transmisie analogică).

Ea se bazează la nivel **Fizic** pe cablul coaxial cu impedanţa de 75Ω, cablul folosit în transmisiile CATV. Aceste cabluri permit transmisii până la 450MHz şi permit lungimi de segmente superioare, datorită semnalizării analogice, mai puţin sensibilă decât cea digitală. Un inconvenient al folosirii amplificatoarelor analogice pe segmentele reţelei este imposibilitatea ca pachetele să parcurgă reţeaua în ambele sensuri, datorat faptului că acestea amplifică şi transmit semnalele doar într-o direcţie. Pentru aceasta, sistemele în bandă largă prevăd fie cablu dual, câte unul pentru recepţie şi unul pentru emisie, fie folosesc benzi separate de frecvenţe pentru emisie şi respectiv recepţie.

Reţelele cu transmisie în bandă largă au o arhitectură de arbore (ilustrată de figura 4.13), rădăcina sa fiind numită **staţie de capăt**, sau **terminator** (*headend*); această staţie are importanţă majoră în reţea. Nodurile arborelui sunt **divizoare** de cale (*splitter*), având rolul transmiterii semnalului pe fiecare cale. Interfaţa cu mediul se face prin intermediul transceiver-elor de bandă largă (numite şi **modemuri**, pentru că realizează modularea în frecvenţă). Ele îndeplinesc şi funcţii legate de filtrarea semnalelor, comprimarea datelor şi aleatorizarea cadrelor, pentru o mai bună sincronizare. Orice mesaj emis de către o staţie către altă staţie, este transmis pe linia de transmisie către rădăcină, care îl înaintează apoi pe linia de

recepție către destinație. Figura 4.13 reprezintă și arhitectura unui sistem dual, liniile paralele, cea continuă și cea întreruptă, simbolizând cablul dual.

Lățimea de bandă a unui canal de transmisie este de 14MHz, iar lungimea maximă a unui segment este de 3,6km.

La nivel **MAC**, singura deosebire față de rețelele în banda de bază este prezența în cadru a unui câmp suplimentar **EOF** (*End Of Frame*), câmp de 23 biți, atașat la sfârșitul cadrului. Aceasta se datorează specificului transmisiei analogice, pentru care în mediu există tot timpul semnalul purtătoare (*data carrier*), spre deosebire de rețelele în banda de bază, pentru care lipsa semnalului în canal poate semnifica sfârșitul cadrului.

În ultima perioadă rețelele locale analogice au pierdut din importanță, datorită imposibilității (deocamdată) de îmbunătățire semnificativă a performanțelor.

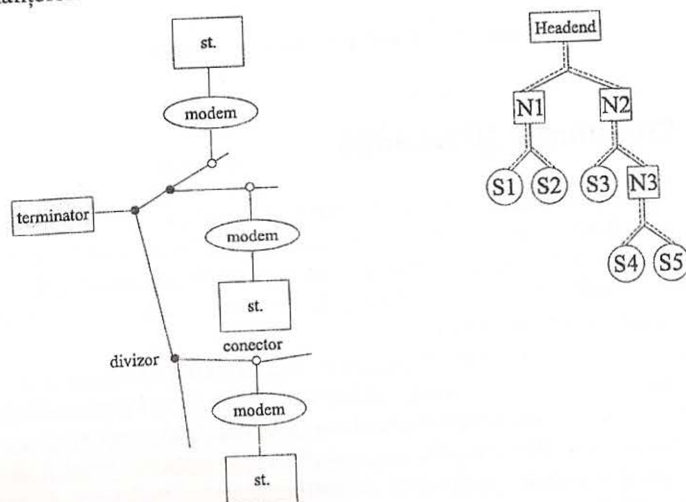


Figura 4.13 Exemplificări pentru rețelele analogice

4.2.7. Standardul 10Base5 cu fibră optică – FOIRL

Pentru îmbunătățirea performanțelor unei rețele 10Base5, în ceea ce privește distanța posibilă maximă între oricare dintre stații, o variantă ar fi utilizarea segmentului de interconectare bazat pe fibră optică. Prin creșterea vitezei de propagare a semnalului purtător de informație în mediu, este posibilă creșterea lungimii segmentului, fără a afecta parametrii critici ai unei rețele 802.3, care sunt distanța temporală între două cadre (*inter-frame gap*) și mai ales întârzierea în propagarea coliziunii (*round trip collision delay*). Standardul **FOIRL** (*Fiber Optic Inter Repeater Link*), cum îi spune și numele, descrie caracteristicile mediului de transmisie și a unității de atașare la mediu (MAU), în condițiile folosirii ca segment de interconectare a fibrei optice. Unitatea de atașare la mediu, numită acum **FOMAU** (*Fiber Optic MAU*), este capabilă să transmită și să recepționeze semnale optice pe un segment de fibră optică cu o lungime maximă de 1000m, segment numit de standard **FOIRL** (*Fiber Optic Inter Repeater Link*).

Mediul de transmisie îl constituie cablul de fibră optică, fiind folosită de obicei fibra optică multimodală cu dimensiunile 62,5/125, instalarea făcându-se conform normelor EIA/TIA 568.

Unitatea de atașare FOMAU este structurată la fel ca orice MAU 802.3, fiind compusă dintr-o interfață independentă de mediu **FOPMA** (*Fiber Optic Physical Medium Attachment*) și una dependentă de mediu **FOMDI** (*Fiber Optic Medium Dependent Interface*). FOMDI este elementul din FOMAU ce conține elementele de emisie/recepție pentru fibra optică, dispozitivele optice lucrând pe lungimea de undă de 850nm, iar fibra optică și componentele pasive fiind conforme cu specificațiile standardului EIA/TIA 568.

Figura 4.14 ilustrează structura FOIRL.

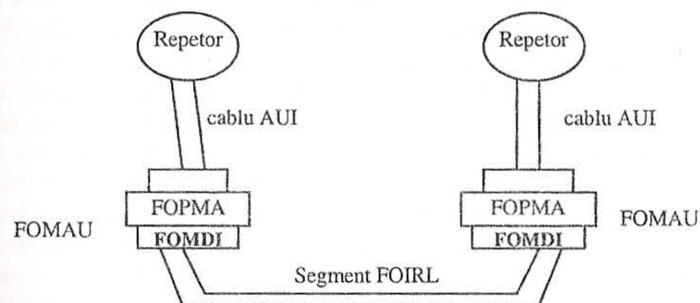


Figura 4.14 Structura conexiunii FOIRL

Funcțiile principale ale unui FOMAU sunt cele cunoscute de la standardele anterioare, la care se adugă cele specifice noului mediu:

- transmiterea fluxului de biți de la repetorul 10Base5 către cablul de fibră optică;
- receptarea fluxului de biți de la fibra optică și transmiterea sa către repetor;
- determinarea și corecta tratare a semnalului de coliziune;
- determinarea erorii de *jabber* (transmisii prea lungi, lungime necorespunzătoare a cadrului) și întreruperea transmisiei;
- detectarea nivelului critic de semnal pe fibră și întreruperea corespunzătoare a recepției.

4.2.8. Standardul 10BaseT

Standardul **10BaseT** constituie o primă abordare structurată a problemelor legate de dezvoltarea rețelelor, în sensul că stațiile atașate sunt legate toate la un repertor multiport (numit și *hub*), sunt conectate împreună, nu sunt inserate fiecare în diverse locuri ale mediului.

Standardul specifică caracteristicile unității de atașare la mediu și caracteristicile mediului de transmisie, legate de transmisia la 10MHz, în banda de bază și pe un segment de cablu torsadat (*twisted pair*, de unde și indicativul 'T' din al treilea câmp al numelui standardului). Conform acestui standard, singura modalitate de conectare a două stații este printr-o legătură *punct-la-punct*, de unde necesitatea utilizării repetoarelor multiport, pentru conectarea a mai mult de două stații, formându-se astfel o topologie stelară. La nivel MAC se implementează identic protocolul 802.3.

Unitatea de atașare la mediu (transceiver-ul 10BaseT) are posibilitatea de a gestiona semnale electrice de-a lungul unor cabluri torsadate (segmente ale rețelei), de lungime maximă de 100m. Aceste perechi de fire răsucite sunt conectate la unitatea dependentă de mediu MDI a transceiver-ului, prin conectori *jack* de opt contacte, cu cheie centrală, de tip RJ45. Pe cele patru fire (două perechi de fire răsucite) ale cablului telefonic folosit, sunt transmise semnalele în curent TD și RD, pentru transmisie și recepție date. Această modalitate oferă avantajul folosirii cablării existente, realizată pentru sistemul telefonic; este deci o cablare ieftină și sigură, datorită calităților cablului torsadat. Rețelele moderne, de mare viteză, suportă această modalitate de cablare (cazul 100BaseT, chiar 1000BaseT), facilitând în timp procesul de modernizare (*upgrading*), fără eforturi materiale deosebite.

Principalele funcții ale unui transceiver 100BaseT sunt cele obișnuite pentru un transceiver 802.3, cu particularitățile proprii mediului de transmisie, și anume:

- transmisia datelor primite de la interfața 802.3, date codificate Manchester, către mediu, respectiv către perechea de linii de transmisie date **TD** (*Transmit Data*); în lipsa datelor de transmis, se transmite pe linie un semnal idle TP_IDL, care este defapt o secvență specifică de impulsuri;
- recepția datelor de pe perechea de linii **RD** (*Receive Data*) și transmiterea către interfață;
- detectarea semnalului de coliziune în mediu (pe liniile RD) și elaborarea semnalului corespunzător către interfață;
- generarea de semnal de test pentru circuitele de detectare a coliziunii (semnal **SQET**);
- funcția de *jabber*, detectarea cadrelor de lungime incorectă;
- funcția de buclare (*loop-back*), prin care datele transmise către mediu sunt transmise în ecou înapoi către interfață;
- funcția de test integritate a legăturilor, bazată pe faptul că dacă o perioadă de timp (50-150ms) nu se primește semnal de date sau semnal TP_IDL, se consideră cădere de linie.

Un segment 10BaseT este constituit dintr-un cablu torsadat format din cel puțin două perechi de fire răsucite, cu următoarele caracteristici:

- impedanța de 100±15Ω, pentru frecvențe de până la 16MHz;
- lungimea de maxim 100m (în timp aceasta a fost mărită datorită folosirii cablurilor UTP de categoria 5, pentru care diafonia și atenuarea au scăzut mult; se poate lucra aici până la 165m); lungimea minimă a acestui cablu este de 0,6m;
- viteza de propagare a semnalului electric este de cel puțin 0,585c;
- atenuarea este de maxim 11,5dB.

Rețeaua 10BaseT prezintă avantajele legate de raportul cost/performanță, de ușurința de instalare și gestionare a rețelei, de modernizare, fiind modelul ideal pentru rețelele dedicate grupurilor de lucru.

4.2.9. Standardul pentru fibra optică 10BaseF

Setul de standarde **10BaseF** reglementează folosirea cablului cu fibră optică pentru un LAN 802.3. Este compus din următoarele standarde:

- 10BaseFP, bazat pe steaua pasivă;
- 10BaseFB, bazat pe transmisia sincronă pe fibră optică;
- 10BaseFL, o îmbunătățire a standardului FOIRL

Standardul 10BaseFP

Standardul **10BaseFP** privește elementele la nivelul **Fizic** aferente unei transmisii la 10MHz, în banda de bază, pe cablu optic în topologie de stea pasivă (FP este prescurtarea lui *Fiber Passive*). Deoarece prin fibră optică legătura între stații este doar de tip *punct-la-punct* (fibra optică nu permite difuzarea, precum folosirea undelor radio de exemplu), pentru a interconecta mai multe stații este necesară realizarea unei topologii stelare sau inelare. Topologia stelară implică existența unui element central, a unui repartitor de semnal, un element care divide semnalul optic (*splitter*) și-l direcționează (steaua pasivă). De aceea mare parte a semnalului optic transmis de o unitate de atașare MAU pe un segment este 'pierdut' prin divizare în elementul central, lucru care face ca MAU să conțină elemente de atașare la mediu de foarte bună performanță.

Ca și caracteristici mai importante, se prevede o distanță maximă între două unități de atașare, prin intermediul stelei, de 1000m, iar între steaua pasivă și MAU, de 500m.

Standardul 10BaseFB

O altă posibilitate de folosire a fibrei optice este dată de standardul **10BaseFB**, care descrie condițiile necesare folosirii cablului de fibră optică ca și coloană vertebrală (*backbone*) între două repetoare 802.3. Câmpul FB din nume semnifică exact folosirea fibrei optice ca *backbone*. Transmisia este de tip sincron, lucru care face eficace folosirea de echipamente transceiver tolerante la erori (*fault-tolerant*). Aceste echipamente sunt dotate cu două porturi (interfețe) pentru accesul la mediu, una principală și una de restaurare, care intră în funcțiune la defectarea primeia.

Caracteristicile se încadrează în cele ale rețelelor anterioare, dar unele sunt specifice:

- segmentul de fibră optică poate avea o lungime de 2000m;
- un MAU prevede transmiterea, în absența semnalului de date, a semnalului **S_IDL** (*Synchronous Idle*), cu rol de test a liniei;
- la recepția unei erori din linie, MAU generează semnalul **RF** (*Remote Fault*);
- transmisia datelor și a semnalelor S_IDL și RF se face în mod sincron, pe baza celulei de 1 bit.

Se prevăd și aici aceleași funcții pentru MAU, precum tratarea coliziunii, funcția de *jabber* și de transmitere în ecou a datelor.

Pentru că prin transmisia sincronă, unitatea MAU nu mai are nevoie de sincronizare prin intermediul preambulului, nu mai intervine faza de refacere a sa, și deci nu este influențat parametrul **IPG** (*inter-frame gap*). Cu alte cuvinte segmentul 10BaseFB nu contează ca repetor, pentru că nu micșorează valoarea parametrului IPG. Aceasta permite extinderea rețelei 802.3, prin cascadarea a două segmente 10BaseFB, putând conta acum pe distanțe între stații de 4Km.

Standardul 10BaseFL

Standardul **10BaseFL** se referă la problemele folosirii fibrei optice ca legătură (*Link*) între repetoare sau stații ale unui LAN 802.3. Legăturile pot fi de tip *punct-la- punct* sau stelare (dacă sunt folosite repetoare multiport).

Un segment 10BaseFL constă într-o conexiune punct-la-punct prin fibră optică între două unități MAU (unități legate prin cabluri la repetoare sau stații). El poate avea o lungime de până la 2000m.

Transceiver-ul este compatibil cu MAU FOIRL, și are aceleași caracteristici optice precum MAU 10BaseFB.

4.2.10. Rețele 802.3 comutate

Rețelele **802.3 comutate** (numite și *switched Ethernet*) s-au dezvoltat ca o soluție pentru posibilitatea folosirii unui număr mai mare de stații, fără a afecta drastic traficul în rețea și fără a se efectua schimbări fundamentale în structura rețelelor sau a stațiilor (fără a schimba plăcile de interfață, de exemplu).

Elementul central al arhitecturii este un comutator (*switch*), care conține o serie de plăci *plug-in* insertate într-un fund de sertar de mare viteză. Fiecare placă deservește un număr de porturi (ilustrate prin conectoarele de pe fundul de sertar din figura 4.15). Uzual, fiecare conector de pe fundul de sertar este legat printr-o legătură 10BaseT cu o stație. Este posibil să se conecteze între ele mai multe concentratoare.

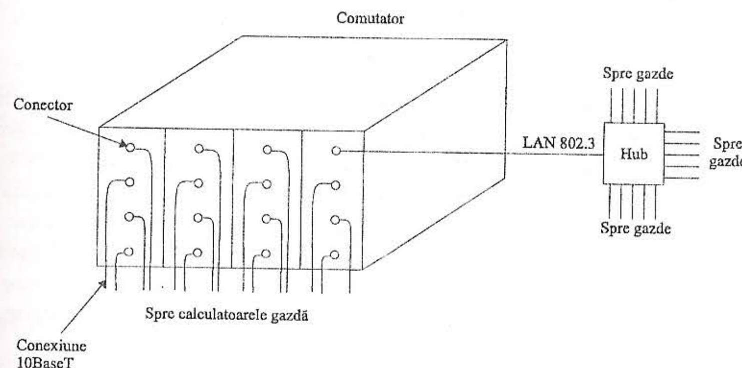


Figura 4.15 Rețele 802.3 comutate

Ca mod de operare la nivel MAC, există posibilitățile:

- fiecare placă să constituie un domeniu de coliziune, cuprinzând stațiile conectate la placă; în acest mod, la un moment dat poate exista o singură transmisiune pe placă, dar toate plăcile pot transmite în paralel;
- fiecare port posedă memorie tampon în care înmagazinează temporar cadrele sosite; în acest fel este permisă operarea în paralel (mod *full-duplex*); fiecare placă va dirija cadrul sosit la un port propriu către portul de ieșire corespunzător, fie că el se situează local pe placă, fie prin intermediul fundului de sertar, către portul la distanță de pe altă placă; în acest fel nu mai intervin coliziunile, iar viteza poate crește cu un ordin de mărime.

4.2.11. Reguli pentru configurarea unei rețele 802.3 cu mai multe segmente

Primele versiuni ale standardelor **802.3** dădeau ca reguli de configurare unele destul de restrictive, devenind repede vetuste, prin posibilitatea folosirii unor medii de transmisie mai performante. Aceste reguli se bazează pe parametrii critici ai unei rețele 802.3, care sunt:

- asigurarea unui interval de timp minim între două cadre consecutive (parametrul IPG);
- asigurarea unei durate de propagare a semnalului de coliziune.

Este și motivul pentru care de-a lungul timpului ele au fost de multe ori modificate. Cel mai simplu set de reguli de configurare este și cel mai vechi, și cel mai restrictiv; el ar fi următorul:

- se definesc, pentru configurarea unei rețele 802.3 cu mai multe segmente, conectate prin repetoare, două tipuri de segmente: segmente de tip coax, segmentele la care se conectează stațiile (segmentele care posedă unități de atașare MAU), precum segmente 10Base5 sau 10Base2, și segmente de tip legătură (*link*), care fac legătura între două repetoare, fără a poseda MAU, precum legătura FOIRL sau 10BaseT;
- rețeaua poate prevedea un număr de maxim 5 segmente, dintre care doar 3 pot fi de tip coax, deci rețeaua va accepta un număr de maxim 4 repetoare;
- segmentul de legătură de tip FOIRL va avea o lungime scăzută, de 500m, dacă numărul de repetoare este maxim.

Versiunea de standard din 1993 dă o definire mai exactă a parametrilor de configurare, dând posibilitatea unor modele de configurare diverse.

Astfel ea definește următorii parametri:

- segment mixt, care interconectează mai mult de două unități de atașare MAU (transceivere) de tip 10Base5, 10Base2 sau 10BaseFP;
- segment de legătură, ce realizează o legătură punct-la-punct între două transceivere de tip FOIRL, 10BaseT, 10BaseFB sau 10BaseFL (prin transceiver să se înțeleagă aici complexul transceiver-repetor);
- cale în rețea (*path*), sau traseul între două echipamente terminale de date DTE, traseu ce poate implica traversarea de segmente, repetoare, unități de atașare;
- întârzierea semnalului pe un segment dat, **SDV** (*Segment Delay Value*);
- întârzierea pe cale **PDV** (*Path Delay Value*), care nu trebuie să depășească o valoare dată de standard (49,9μs – valoare restrictivă), sau aproximativ 512 perioade de bit;

- variabilitatea segmentului **SVV** (*Segment Variability Value*), ce dă valoarea cu care afectează un segment dat valoarea parametrului **IPG** (*Inter Packet Gap*);
- variabilitatea căii **PVV** (*Path Variability Value*), suma tuturor valorilor SVV ale segmentelor ce definesc calea, și care nu trebuie să depășească valoarea de 49 perioade de bit (IPG este de minim 49 de biți).

Tabelul următor prezintă valorile standard ale numărului maxim de transceivere conectate la segment și lungimea maximă permisă a segmentului, pentru diferitele tipuri de segmente.

Tip de segment	**Număr maxim MAU/segment**	**Lungime max. segment [m]**
10Base5	100	500
10Base2	30	185
10BaseFP	33	1000
FOIRL	2	1000
10BaseT	2	100
10BaseFB	2	2000
10BaseFL	2	2000

Tabelul 4.2 Valori standard

4.2.12. Legătura reală între o rețea Ethernet v.2.0 și una IEEE 802.3

Capitolul a prezentat până acum aspectele comune, precum și diferențele între cele două standarde, **Ethernet v.2.0**, respectiv **IEEE 802.3**. Diferențele esențiale se referă la formatul pachetelor (cadrelor), ce diferă prin structură, precum și la faptul că nivelul OSI **Legătură de date** este implementat de rețeaua 802.3 prin două subnivele, **LLC** și respectiv **MAC**, pe când rețeaua Ethernet prevede un singur nivel. Aceasta implică că un pachet Ethernet este schimbat direct cu nivelul rețea superior, pe când un cadru MAC al rețelei 802.3 va fi livrat, printr-un punct de acces la servicii, subnivelului **LLC**. Structura pachetelor este diferită în privința lungimii posibile a câmpului de date (câmpul **Info**), precum și a semnificației câmpului de doi octeți care precede câmpul de date. Pentru o rețea Ethernet acest câmp codifică tipul protocolului de nivel rețea care este adiacent superior în ierarhia de protocoale implementată, codificarea făcându-se cu valori numerice superioare valorii 1535. La o rețea 802.3 câmpul codifică lungimea câmpului de date și poate avea valori numerice între 0 și 1500.

Rezultă că discriminarea între cele două forme de cadre se va face pe baza acestui câmp; dacă valoarea numerică a sa depășește valoarea 1500, este vorba de un pachet Ethernet și câmpul codifică protocolul rețea de deasupra,

care va procesa acel pachet, iar dacă valoarea este mai mică sau egală cu 1500, este vorba de un pachet 802.3, câmpul conține lungimea efectivă a câmpului de date, iar pachetul va fi procesat de protocolul aferent subnivelului **LLC**.

În practică se întâlnesc deseori rețele mixte, mai ales rețele ce folosesc formatul cadrului Ethernet, dar sunt bazate pe hardware descris de cele mai noi specificații 802.3.

Toate aceste considerații sunt sintetizate de figura 4.16.

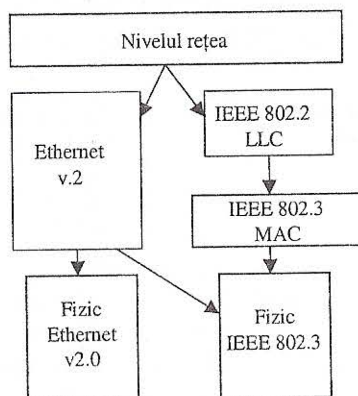


Figura 4.16 Legătura Ethernet - 802.3

4.3. Rețeaua Token Bus și standardul IEEE 802.4

Standardul **IEEE 802.4**, a fost publicat de IEEE la mijlocul anilor '80, și a fost susținut de companii precum gigantul **General Motors**, interesate în domeniul automatizării fabricației (protocolul definit de standardul 802.4 intră în categoria **MAP** - *Manufacturing Automation Protocol*).

El a fost construit ca o reacție la standardul 802.3, aplicat cu succes în activitățile de proiectare și de birou (acesta intră în categoria **TOP** - *Technical and Office Protocol*), dar total impropriu folosirii pentru automatizarea proceselor industriale, prin faptul că nu prevede cadre prioritare și nu oferă o determinare a timpilor de așteptare pentru accesul la mediu (protocolul este nedeterminist, cazul cel mai defavorabil nu poate fi estimat printr-o valoare de maxim). În replică, comitetul de lucru pentru dezvoltarea standardului 802.4 a propus o rețea cu o topologie liniară, de tip magistrală (*bus*), cea mai adecvată controlului automat al unei linii de producție, permițând de asemenea implementarea unui sistem de priorități pentru stațiile conectate și prezentând o comportare deterministă, accesul la mediu fiind făcut printr-o metodă bazată pe

jeton (*token*), lucru ce dă posibilitatea estimării cazului cel mai defavorabil pentru timpul de așteptare pentru accesul la mediu.

Precum celelalte protocoale MAC 802.x, ilustrate de figura 4.9, protocolul 802.4 este un protocol la nivelul accesului la mediu, având deasupra, în stiva de protocoale, protocolul LLC definit de standardul IEEE 802.2, iar la nivelul **Fizic** bazându-se pe transmisia analogică (în bandă largă), utilizând cablu coaxial CATV. Este și acesta unul dintre motivele pentru care rețelele Token Bus nu mai corespund performanțelor cerute actualmente.

Dacă fizic, cablul folosit, la care sunt atașate stațiile, este configurat liniar sau arborescent, din punct de vedere logic stațiile sunt organizate într-un inel, în care circulă token-ul într-o anumită direcție (vezi figura 4.17). Figura reprezintă o configurație în care sunt stații active, cuprinse în inelul logic, și stații inactive (stația S6), ce nu fac parte din inelul logic. Fiecare stație cunoaște adresele stațiilor din aval și amonte, sau de la stânga și dreapta sa. Dintre stații, la inițializare, una este cea care generează token-ul, și anume cea cu adresa superioară. Accesul la mediu este fără coliziune, deoarece la un moment dat doar o stație din rețea deține token-ul, și deci poate transmite. Mediul fiind de tip *broadcast*, utilizat (împărțit) de toate stațiile, fiecare stație recepționează fiecare cadru din mediu, procesând doar cele care îi sunt adresate. Rețeaua operează la viteze de 1, 5 sau 10Mbps.

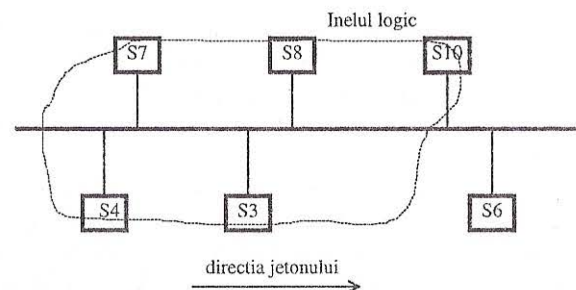


Figura 4.17 Magistrala 802.4

4.3.1. Nivelul Fizic

La nivelul **Fizic**, o rețea **Token Bus** se bazează pe cablul coaxial CATV, cu impedanța de 75Ω, folosit pentru transmisii analogice (cablul obișnuit pentru televiziunea prin cablu). Ca arhitectură este posibilă implementarea arborelui, cu sau fără nod terminator de capăt (*headend*), fie în sistem cu cablu simplu, fie cu cablu dual. Pentru modularea semnalului se folosesc diferite tehnici, variante specializate ale modulării prin deplasare în frecvență (FSK), sau deplasare în fază (PSK), precum: modularea în frecvență cu faza continuă, modularea în frecvență cu faza

coerentă şi modularea în fază cu amplitudine multinivel. Prin aceste tehnici se modulează nu numai simbolurile de date, sau simbolul *'idle'*, dar şi altele necesare în gestionarea şi controlul reţelei. Prin toate acestea, nivelul **Fizic** al reţelei 802.4 este total incompatibil cu cel al altei reţele 802.3, şi chiar mai complicat.

4.3.2. Nivelul MAC

La nivelul controlului accesului la mediu MAC, este implementat protocolul bazat pe algoritmul de acces **Token Bus**. Este un protocol de tip *token passing*, accesul la mediu făcându-se fără dispută (*contention free*), spre deosebire de algoritmul utilizat de 802.3. Accesul la mediu pentru transmisie, al unei staţii, se face pe baza deţinerii token-ului (un cadru special de control) care, la terminarea operaţiei, este transmis în reţea pentru a fi 'achiziţionat' de altă staţie. Singura acţiune unde poate interveni disputa între staţii este inserarea în reţea, rezolvarea bazându-se pe un algoritm de regresie binară.

Token Bus este un protocol complex, prevăzând multe sarcini (funcţii) pentru fiecare staţie, implementarea sa cerând gestionarea unui număr important de timere şi variabile interne.

Elementele principiale de bază ale protocolului de acces sunt următoarele:

- la iniţializare, staţiile sunt introduse în inel în ordinea adreselor lor, de la adresele superioare către cele inferioare;
- în inel, token-ul unic circulă de la staţiile cu adrese superioare, către cele cu adrese inferioare (aceasta dă ordinea în care staţiile pot accesa mediul);
- organizarea logică a inelului (ordinea staţiilor în inel) este aceeaşi pe tot parcursul operării, de unde rezultă algoritmi specifici pentru inserarea de noi staţii în inel sau pentru scoaterea unor staţii din inel ;
- fiecare staţie gestionează patru nivele de prioritate, creând intern patru fire de aşteptare pentru transmisie, conform priorităţii cadrului ce trebuie transmis; schema de priorităţi permite alocarea către un nivel de prioritate a unei porţiuni din banda de frecvenţe, lucru ce facilitează implementarea traficului de timp real;
- fiecare staţie păstrează informaţii despre staţiile vecine, pe care le actualizează periodic; ele stau la baza unor operaţii de întreţinere ale inelului logic;
- în reţea controlul este distribuit, temporizarea necesară accesului şi întreţinerii reţelei se realizează prin implementarea unui număr considerabil de timere (complexitatea algoritmilor folosiţi şi dificultatea implementării constituie un dezavantaj major al reţelei 802.4).

Formatul cadrului 802.4 Token Bus este ilustrat de figura 4.18.

Octeţi	≥ 1	1	1	2/6	2/6	0 - 8182	4	1
	Preambul	**SD**	**FC**	**SA**	**DA**	**Info**	**FCS**	**ED**

Figura 4.18 Formatul cadrului 802.4

Câmpul **Preambul**

Este folosit pentru sincronizarea ceasului staţiei (staţiilor) receptoare a cadrului, având însă o lungime mult mai mică decât la 802.3 (poate fi doar un octet).

Câmpurile **SD** (*Start Delimiter*) şi **ED** (*End Delimiter*)

Sunt folosite pentru a marca clar începutul şi sfârşitul cadrului. Pentru aceasta ele au în componenţă, la fel ca la alte protocoale, simboluri non-data, cu o codificare diferită de codificarea pentru biţii de date 0 şi 1. În acest fel nu mai este necesară prezenţa în cadru a unui câmp de lungime, pentru a evidenţia clar lungimea câmpului **Info** (câmpul de date).

Câmpul **FC** (*Frame Control*)

Este folosit pentru identificarea cadrelor de control. Cadrele de control sunt prezentate de tabelul 4.3 şi rolul lor este ilustrat la prezentarea metodei de acces la mediu şi a funcţiilor de întreţinere şi control a magistralei. Dacă cadrul este pentru date, acest câmp transportă prioritatea asociată respectivului cadru.

Cod cadru	Nume cadru
00000000	Claim_token
00000001	Solicit_succesor_1
00000010	Solicit_succesor_2
00000011	Who_follows
00000100	Resolve_contention
00001000	Token
00001100	Set_succesor

Tabelul 4.3 Cadrele de control

Câmpurile **SA** (*Source Address*) şi **DA** (*Destination Address*)

Au o lungime (2 sau 6 octeţi) şi structură (biţi pentru adresare locală/globală, adresare individuală/grup) identice cu cele folosite de protocolul 802.3.

Câmpul de date propriu-zis, numit **Info**

Poate avea o lungime de până la 8182 octeţi, dacă se foloseşte adresarea cu adrese pe 2 octeţi, sau până la 8174 octeţi, la o

adresare pe 6 octeți. Este o lungime considerabilă a câmpului de date, de peste cinci ori lungimea maxim posibilă pentru câmpul de date din cadrul 802.3 (aceasta este posibil pentru că metoda de acces la mediu aferentă protocolului Token Bus folosește timere pentru limitarea timpului de deținere a jetonului, și nu este necesar să limiteze drastic lungimea cadrului, pentru a limita timpul de acces la mediu, precum este cazul la rețelele 802.3).

Câmpul pentru controlul erorii **FCS** (*Frame Control Sequence*)

Este de 4 octeți, folosește același polinom generator CRC-32 ca și standardul 802.3.

4.3.3. Operațiunile de control în rețea

Operațiile de control și întreținere ale rețelei se desfășoară pe baza cadrelor de control prezentate mai sus. Dintre aceste cadre de control, cel mai utilizat (și deja prezentat) este cadrul *'Token'*, ce implementează conceptul de *token passing*, elementul cheie al algoritmului de acces la mediu.

Inițializarea rețelei

La inițializare, cazul cel mai simplu este când o singură stație devine activă. Aceasta constată că este singură în inel, prin detectarea lipsei de trafic în rețea. Ea va genera un cadru de control, numit *'Claim_token'*, prin care solicită jetonul. Neavând competitori pentru dobândirea jetonului, la revenirea înapoi a cadrului *'Claim_token'*, ea va crea un token (va genera un cadru *'Token'*) și-l va trimite în rețea. Periodic, cu o perioadă dată de un timer specific, stația va solicita altor stații intrarea în rețea, prin permisiunea unei sesiuni de inserare în rețea, sesiune bazată pe competiție (*bid session*) între 'ofertele' existente (o singură stație este inserată la un moment dat). Pe măsură ce alte stații devin active, ele vor putea fi inserate în rețea, după un algoritm ce va fi decris mai jos.

Dacă la inițializare, două sau mai multe stații devin simultan active (sunt startate simultan), procesul de alegere a primei stații din inelul logic (cea care va genera token-ul) decurge după același algoritm de licitare bazat pe regresia binară.

De fapt inițializarea este un caz particular al procesului de adăugare în inel a unei noi stații, proces ce este prezentat în continuare.

Inserarea în rețea a unei noi stații

Odată ce inelul a fost creat, fiecare stație ce se află în inel desfășoară continuu activități de gestionare a inelului. Pentru aceasta, fiecare stație va avea memorate adresele stațiilor vecine, din 'dreapta' și 'stânga' sa, după cum este sensul de parcurgere a rețelei de către token. Pentru a permite inserarea de noi

stații în rețea, cu păstrarea ordinii logice în inel, se va emite periodic, de către fiecare stație activă din rețea, în momentul când ea deține token-ul, a câte unui cadru de control de tip *'Solicit_succesor_1'*. De remarcat că ordinea stațiilor în inelul logic nu corespunde în mod necesar cu ordinea fizică a amplasării stațiilor (conectarea lor la cablu). Aceasta se datorează faptului că mediul de comunicație este unul de tip *broadcast*, fiecare stație va recepționa fiecare cadru ce circulă în rețea și va procesa doar pe acelea care îi sunt destinate.

Cadrul de tip *'Solicit_succesor_1'*, emis de o stație activă deținătoare a token-ului, la anumite momente de timp, date de un timer specific, conține atât adresa proprie cât și adresa stației succesoare. Dacă într-un timp anumit, dat de un timer, timp ce depinde de lungimea cablului, stația nu primește înapoi cadrul modificat, semn al existenței unei stații ce dorește inserarea și s-a introdus în rețea, ea va continua activitățile normale de transmisie sau de transmitere a token-ului.

Dacă o stație care așteaptă să fie inserată în inel, determină că adresa sa logică se încadrează în intervalul stabilit de cele două adrese din cadrul *'Solicit_succesor_1'*, acum poate să o facă, după o modalitate simplă, și anume prin setarea sa ca stație succesoare a stației deținătoare a token-ului.

Dacă însă sunt mai multe stații care așteaptă inserarea și au adresele în acest interval, se va declanșa un proces de alegere bazat pe 'oferta' (*bid*) fiecărei stații, doar una fiind câștigătoarea care va fi inserată în acel moment (va fi succesorul stației deținătoare a token-ului).

Existența mai multor stații care cer inserarea în inel este dedusă de stația care a inițiat procesul de inserare, printr-un proces electric, datorat coliziunii cadrelor modificate *'Solicit_succesor_1'*, emise de stațiile doritoare, de pe urma auto-setării lor ca stații succesoare. Stația deținătoare a token-ului va genera acum un cadru de control de tip *'Resolve_contention'*, generându-se un proces de alegere bazat pe un algoritm cu regresie liniară. În acest sens fiecare stație are implementată în interfața pentru acces la rețea, un mecanism de generare a unei valori aleatoare, între 0 și 3. Valoarea aleatoare este generată la fiecare folosire, sau în mod periodic, pentru a nu fi dezavantajată nici o stație. Această valoare va determina un interval de întârziere pentru ofertare, deci șansa ca două stații să dorească inserare simultan (ca răspuns la același cadru de solicitare succesor) este redusă. În acest mod este foarte probabil ca o singură stație să solicite inserare, acționând asupra cadrului și setându-și adresa.

Pentru a se asigura o viteză de transmisie optimă, sau un timp prevăzut de parcurgere a inelului, inițierea unui proces de inserare nu se face în mod necesar periodic, ci depinde de încărcarea actuală a rețelei.

Excluderea unei stații din inel se face simplu, după modelul listelor înlănțuite, pe baza adreselor stațiilor predecesoare (fie ea *'adr_P'*) și succesoare (fie adresa sa *'adr_S'*) ale stației care dorește excluderea (cu adresa *'adr_A'*). În acest sens, stația care dorește excluderea sa din inel va trimite către stația predecesoare, cu adresa *'adr_P'*, un cadru *'Set_succesor'*, anunțând-o că nu ea constituie succesorul, ci stația sa succesoare, deci va fi setată în câmpul respectiv adresa *'adr_S'*.

Operații de întreținere a inelului

Problemele de întreținere ale integrității inelului logic și ale token-ului sunt rezolvate tot în mod distribuit, prin intermediul altor cadre de control.

Astfel, la căderea unei stații, inactivitatea sa este depistată de stația sa predecesoare, în momentul pasării jetonului. Stația care a deținut jetonul și îl trece acum stației sale succesoare (stația inactivă), va intra într-un proces de 'ascultare', determinând dacă succesorul său transmite date sau transmite mai departe token-ul. Dacă după un timp determinat, stația care ascultă mediul nu sesizează acest lucru, va transmite un nou token. Dacă nici la acesta nu observă replică, va transmite în inel un cadru special, numit '*Who_follows*', cadru ce conține adresa stației succesoare (stația inactivă). Stația succesoare a stației inactive, la recepția cadrului '*Who_follows*', va modifica câmpul cu adresa stației succesoare, setând acolo propria adresă, în acest fel stația inactivă fiind eliminată din inel.

Dacă defectul este mai grav, afectând două sau mai multe stații, stația care a deținut token-ul neputând localiza un alt eventual succesor, ea va lansa un cadru de tip '*Solicit_succesor_2*', care determină dacă există stații active; în același timp se lansează procesul de permitere a unei inserări. Deseori este însă necesară reinițializarea rețelei.

Dacă eroarea afectează token-ul, pot exista cazurile de pierdere a token-ului sau de tokene multiple în rețea.

În primul caz, la dispariția token-ului din rețea, fiecare stație activă are implementat un timer pentru durata maximă de așteptare a unui cadru, sau a unui token. La expirarea timpului de așteptare, ea va genera un cadru '*Claim_token*', care va declanșa procesul de alegere a stației deținătoare a token-ului (inițializare), după algoritmul de regresie binară cu doi biți aleatori.

Problema jetoanelor multiple se rezolvă în modul următor: dacă o stație care deține token sesizează o transmisie a altei stații, va scoate jetonul propriu din inel. Dacă există în continuare jetoane multiple, fiecare stație deținătoare de token care sesizează transmisie a altei stații, își va elimina jetonul propriu din rețea.

Standardul IEEE 802.4 este actualmente în declin, pe de-o parte datorită minusurilor proprii (transmisie analogică și amplificatoare analogice pretențioase, complexitatea protocolului, comportare slabă pentru încărcare redusă a rețelei), dar și pentru că este impropriu utilizării la nivelul **Fizic** a unor medii de transmisie rapide, precum fibra optică.

4.4. Rețeaua Token Ring și standardul IEEE 802.5

Rețeaua **Token Ring** are aceeași 'vârstă' precum Ethernet, fiind elaborată de concernul **IBM** în anii '70, ca o alternativă la aceasta. Prima versiune de rețea Token Ring opera pe un cablaj în topologie stelară, realizat cu cablu STP de tip 1, la o viteză de 4Mbps. Astăzi rețelele Token Ring operează la viteze de 4Mbps și 16Mbps, pe cabluri STP și UTP, categoria 4 și 5.

La începutul anilor '80, organizația IEEE a creat comitetul 802.5, pentru specificarea nivelului **Fizic** și a subnivelului **MAC** al rețelei Token Ring, standard acceptat și de ISO și publicat ca standard **ISO 8802.5** în anul 1992.

O rețea Token Ring constă din mai multe stații legate între ele prin legături punct-la-punct, topologia realizată fiind cea de inel fizic (figura 4.19). Cablarea rețelei se face însă sub formă stelară, pentru asigurarea unei mai bune operativități în munca de întreținere a rețelei. 'Centrul' stelei îl reprezintă concentratorul, de la care pleacă legăturile către stațiile din rețea. Dacă una din stații se defectează sau trebuie dezactivată temporar, operația de scoatere a stației din rețea se face la nivelul concentratorului, prin acționarea unor relee de trecere bypass (figura 4.19).

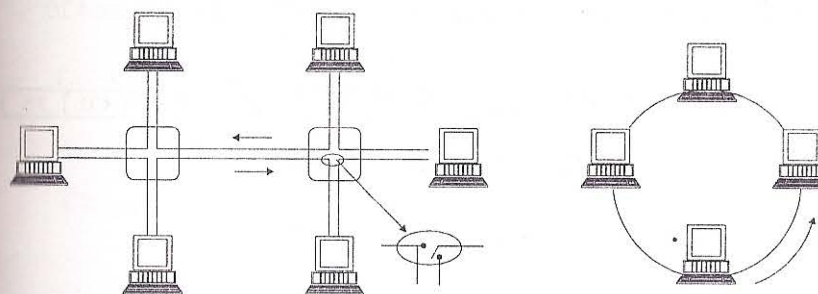


Figura 4.19 Topologiile de inel și inel configurat stelar

4.4.1. Metoda de acces la mediu Token Ring

Metoda de acces la mediu **Token Ring** este o metodă de tip '*token passing*', bazată pe existența în rețea a unui pachet special, numit jeton sau *token*. Acest pachet, de lungime minimă, circulă în rețea indicând că mediul este liber. O stație poate transmite doar când achiziționează jetonul. La terminarea transmisiei, sau după un timp determinat, ea este obligată să elibereze jetonul. La inițializarea rețelei, stația care este desemnată să gestioneze rețeaua, numită *monitor activ*, va genera token-ul.

Implementarea metodei de acces, așa cum o face standardul 802.5, are la bază următoarele elemente cheie:

- protocolul MAC este bazat pe existența în rețea doar a unui singur token, astfel că o stație care a terminat transmisia nu va mai genera alt token, ci va elibera token-ul ce l-a deținut;
- există biți pentru prioritate, ce pot fi setați de fiecare stație;

- există bit monitor, folosit dacă se foloseşte gestionarea centralizată a inelului;
- există indicatori de rezervare, folosiţi de staţiile cu prioritate ridicată pentru a indica că următorul token va fi cu prioritate crescută;
- există timere pentru controlul perioadei de păstrare a jetonului de către o staţie, pentru a nu ocupa abuziv inelul, sau pentru alte acţiuni ale proceselor în derulare în reţea;
- există biţi de achitare, precum şi biţi de stare/control, pentru semnalarea unor erori sau a îndeplinirii unor acţiuni.

4.4.2. Subnivelul accesului la mediu MAC

Implementarea metodei de acces la mediu **Token Ring** se face la subnivelul MAC. Formatul unităţilor de date ale protocolului MAC este dat de figura 4.20.

Octeţi	1	1	1	6	6	0 - 30	4 - 17749	4	1	1
	SD	AC	FC	DA	SA	RI	Info	FCS	ED	FS

Figura 4.20 Formatul cadrului 802.5

Semnificaţia câmpurilor din cadru este următoarea:

Câmpul **SD** (*Starting Delimiter*)

Are rol de identificare al începutului fizic al cadrului. Este constituit din biţi valizi de date, dar şi din biţi non-data, care încalcă codificarea Manchester folosită pentru date (nu prezintă tranziţie la mijloc de perioadă de bit). Structura sa de bit este: **JK0JK000**, unde pe lângă bitul de date 0, intervin biţii de non-data J şi K.

Câmpul **AC** (*Access Control*)

Conţine informaţii pentru accesul la mediu (la inel). Structura sa de bit este: **PPPTMRRR**, unde subcâmpurile au următoarea semnificaţie:

- subcâmpul de trei biţi **PPP** indică prioritatea accesului actual;
- bitul **T** este bitul de token, având valoarea 1, dacă pachetul curent este de date şi valoarea 0 daca este pachet-token;
- bitul **M** este setat în cazul emiterii cadrului de către staţia monitor activ;
- subcâmpul de trei biţi **RRR** codifică prioritatea cerută de staţie pentru accesul următor.

Cele două câmpuri formează aşa numita secvenţă de start a cadrului **SFS** (*Start-of-Frame Sequence*).

Câmpul **FC** (*Frame Control*)

Defineşte conţinutul cadrului MAC. Câmpul are structura de bit **FFZZZZZZ**, unde biţii **FF** identifică natura cadrului, şi anume:

- cadru MAC de gestionare (control) pentru valoarea 00; este un cadru necesar a fi recepţionat de toate staţiile;
- cadru ce conţine în câmpul **Info** un pachet LLC, pentru valoarea câmpului 01.

Biţii **ZZZZZZ** sunt biţi de control. Cadrele de control folosite de protocolul Token Ring sunt enumerate de tabelul 4.4.

Cod cadru	Nume cadru
00000000	Duplicate Address Test
00000010	Beacon
00000011	Claim token
00000100	Purge
00000101	Active Monitor Presence
00000110	Standby Monitor Presence

Tabelul 4.4 Cadrele de control Token Ring

Câmpurile **DA** (*Destination Address*) şi **SA** (*Source Address*)

Reprezintă adresele pe 6 octeţi ale staţiei destinatare, respectiv ale staţiei sursă a cadrului curent.

Câmpul **RI** (*Routing Information*)

Conţine informaţia de dirijare necesară dacă cadrul parcurge o reţea extinsă prin folosirea de elemente de interconectare bazate pe dirijare de la sursă (ele sunt descrise în capitolul 6). Lungimea sa este variabilă, până la 30 de octeţi.

Câmpul **Info**

Reprezintă câmpul de date propriu-zis şi poate avea o lungime de la 4 la 17.749 octeţi. Această lungime depinde de viteza de transmisie (sau de durata unui bit, fie ea *t*) şi de valoarea timpului acordat staţiilor pentru reţinerea token-ului, **THT** (*Timer Holding Token*), care are o valoare maximă, stabilită prin standard la 8,9ms. Ea se calculează stabilind lungimea întregului pachet, notată *l* (inclusiv secvenţele de start şi sfârşit ale cadrului (**SFS** şi **EFS**)), pe baza relaţiei:

$THT \geq l*t*8$.

Pentru o reţea lucrând la 4Mbps lungimea maximă a pachetului 802.5 este

l = 4450octeţi,

iar pentru o reţea lucrând la 16Mbps, lungimea maximă este de

l = 17.800octeţi.

Scăzând din lungimea maximă a pachetului, valoarea 51 (suma maximă a lungimilor celorlalte câmpuri), se obţine lungimea maximă a câmpului **Info**.

Câmpul **FCS** (*Frame Check Sequence*)
Reprezintă suma de control realizată prin calculul CRC asupra câmpurilor pachetului.

Câmpul **ED** (*Ending Delimiter*)
Indică sfârşitul pachetului şi are în structură biţi de date şi non-data, respectiv are structura de bit: **JK1JK1IE**. Suplimentar faţă de alte protocoale, aici se folosesc biţii suplimentari de control:

- **I** pentru indicarea faptului că pachetul curent este unul intermediar într-o secvenţă ce este transmisă în inel de staţia sursă;
- **E** care semnalizează detectarea unei erori, fiind setat de oricare staţie din inel.

Câmpul **FS** (*Frame Status*)
Este folosit pentru înştiinţarea staţiei sursă despre modul cum a decurs transmisia cadrului. Are structura de bit: **ACrrACrr**, unde câmpul **rr** este câmp rezervat, iar biţii **A** (adresă destinaţie recunoscută - *Address recognized*) şi **C** (copiere cadru la destinaţie - *frame Copied*), formează combinaţii cu următoarea semnificaţie:

AC	Semnificatie
00	Staţie inexistentă sau inactivă
10	Staţie existentă, pachet necopiat
11	Staţie existentă şi pachet copiat

Aceste ultime două câmpuri formează secvenţa de terminare a cadrului **EFS** (*End-of-Frame Sequence*).
Structura cadrului special de token este redată de figura 4.21:

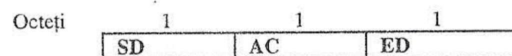


Figura 4.21 Structura cadrului de token

Câmpurile au aceeaşi semnificaţie şi structură ca pentru cadrul normal de date, singura remarcă este că în câmpul de control al accesului, bitul **T** este setat la 0.

4.4.3. Conectarea la o reţea Token Ring

Fiecare staţie legată la reţeaua **Token Ring** trebuie să posede un element de cuplare, numit *interfaţă* sau *unitate de cuplare la linie*. Din punct de vedere logic, ea poate fi reprezentată ca în figura 4.22. Partea de interfaţă preia bit dupa bit informaţia din inel (pe linia '*ring-in*'), şi o transmite către staţie pe linia de recepţie. Această informaţie poate fi transmisă imediat înapoi în reţea, prin punerea ei pe linia '*ring-out*', prin intermediul unei căi de repetare (*repeat path*), controlată de protocolul la nivel **MAC** din staţie, cale directă între liniile de recepţie şi transmisie din cadrul staţiei (linia întreruptă figurată). Deci, în aceste condiţii, interfaţa introduce în inel o întârziere de o perioadă de bit. Linia de repetare poate fi dezactivată, dacă staţia are de transmis date proprii în inel.

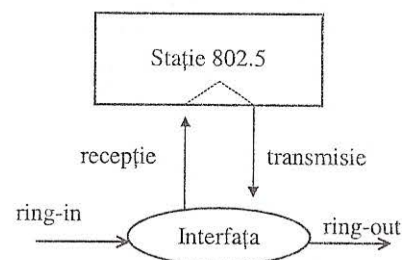


Figura 4.22 Structura semnalelor din interfaţă

Din punct de vedere fizic, transceiver-ul, cum se mai numeşte unitatea de cuplare la linie **TCU** (*Trunk Coupling Unit*), se găseşte situat în concentrator, elementul central al topologiei stelare, şi conţine în plus releul pentru decuplarea staţiei şi electronica necesară cuplării la mediu. De asemenea, pentru a se asigura timing-ul necesar bunei circulaţii şi interpretări a cadrului de token în reţea, este necesar ca întârzierea prevăzută de reţea să fie superioară duratei a 24 de biţi (lungimea token-ului). Dacă această întârziere nu poate fi asigurată prin interfeţele existente, se folosesc întârzieri suplimentare, în circuitele de interfaţă 802.5 ale staţiilor existând buffere ce asigură o întârziere 'elastică', în funcţie de condiţiile de funcţionare fizică ale inelului.
Schema sa electronică este ilustrată de figura 4.23.

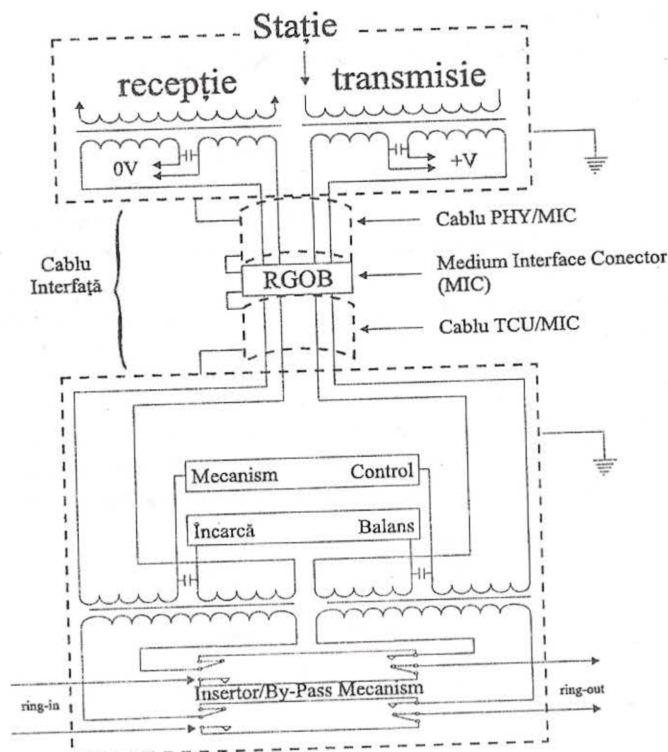


Figura 4. 23 Structura fizică a unităţii de cuplare

4.4.4. Algoritmul de transmisie, repetare şi recepţie cadre

Fie o reţea cu patru staţii A, B, C şi D (figura 4.24), şi să presupunem că staţia A doreşte să transmită un mesaj către staţia C.

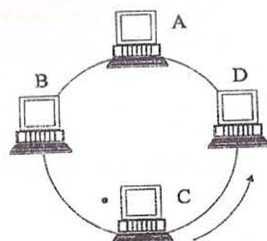


Figura 4.24 Exemplu de inel

Transmisia va avea loc după următorul algoritm:

- Staţia A aşteaptă recepţia unui token pe linia '*ring-in*', şi când îl sesizează, îl reţine. Reţinerea token-ului semnifică că staţia A va seta bitul T din câmpul **AC** al cadrului de token, de pe 0 pe 1. Astfel staţia transformă cadrul de token în cadru de date, iar biţii transmişi pe linia '*ring-out*' înapoi în reţea, prin intermediul căii de repetare (care şuntează liniile '*ring-in*' cu '*ring-out*'), formează secvenţa de start **SFS**, a cadrului de date.
- După transmiterea secvenţei **SFS**, staţia A inhibă linia de repetare de bit (*repeat path*).
- Staţia A începe transmisia propriilor date, prin punerea pe linia '*ring-out*' a biţilor corespunzători câmpurilor de control cadru **FC**, adreselor destinaţie **DA** şi sursă **SA** şi eventual informaţie pentru elementul de interconectare în câmpul **RI.**
- Staţia A transferă în reţea biţii de date din câmpul **Info.**
- Dacă staţia mai are de transmis date (mai are de transmis alte cadre) şi timpul alocat pentru reţinerea token-ului **THT** (*Timer Holding Token*) nu a expirat, setează bitul **I** (*Intermediate*) din câmpul **ED**, pentru a semnaliza că acest cadru nu este ultimul. Continuă transmisia pachetelor succesive, respectând paşii anteriori.
- Când staţia A a transmis ultimul pachet, resetează bitul **I**.
- Dacă staţia a terminat transmisia datelor proprii înaintea recepţării înapoi pe linia '*ring-in*' a primului cadru transmis, este nevoită să aştepte acest cadru şi va transmite în reţea biţi de umplutură (*fill bits*).
- Când staţia A recepţionează un cadrul transmis (îl recunoaşte ca propriu prin intermediul câmpului de adresă **SA**), îl scoate din reţea (nu îl mai retransmite) şi devine disponibilă să elibereze token-ul. Dacă nu mai are cadre de transmis, îl eliberează imediat, dacă mai are date, continuă transmisia în condiţiile descrise mai sus.
- În timpul cât staţia A a transmis date în reţea, staţiile care nu au posedat jetonul (staţiile B, C şi D) au îndeplinit doar funcţia de repetare a biţilor de pe liniile '*ring-in*' pe cele '*ring-out*' corespunzătoare, deci au transmis informaţia mai departe în reţea.
- Dacă ele au detectat eroare de date, semnalează aceasta prin setarea bitului **E** din câmpul **ED.**
- Staţia receptoare a mesajului emis de staţia A, respectiv staţia C, din analiza conţinutului câmpului adresă destinaţie **DA**, recunoaşte propria adresă MAC şi nu efectuează doar repetarea biţilor, ci şi copierea lor pe linia 'recepţie', în buffer-ele proprii, şi de asemenea setează corespunzător biţii A şi C din câmpul **FS** al cadrului recepţionat.

- Staţia A, la sfârşitul recepţiei înapoi a cadrului (cadrelor) transmise, va elibera token-ul şi va reactiva linia de repetare proprie (*repeat path*).

De remarcat că, în anumite cazuri, depinzând de viteza de transmisie şi de numărul de staţii conectate la reţea, pentru a se îmbunătăţi performanţa reţelei, se poate aplica regula eliberării anticipate a token-ului (*early token release*). Prin aceasta, staţia care a transmis un cadru (sau o secvenţă) nu mai este obligată să aştepte un timp (în unele cazuri acest timp este o fracţiune importantă a timpului de parcurgere al inelului), până la întoarcerea cadrului transmis, pentru a elibera token-ul, ci poate să o facă anticipat, imediat după terminarea transmisiei.

De notat că pachetele (cadrele) MAC 802.5 sunt transmise una după alta în secvenţă, fără a exista pauză între două consecutive, precum se impunea la secvenţa de cadre 802.3. Secvenţa de transmisie fiind continuă, sincronizarea între staţii se menţine permanent. În situaţia căderii unei staţii din inel, este posibil să se piardă sincronizarea între staţii. Este motivul pentru care standardul prevede posibilitatea ca primul token şi primul cadru de date dintr-o secvenţă, să fie precedaţi de un număr de biţi (20) de sincronizare (un fel de preambul).

4.4.5. Funcţii de control şi gestionare pentru o reţea 802.5

Funcţiile de control şi gestionare a reţelei se pot grupa în patru clase, care se referă la:

- stabilirea monitorului activ (*active monitor*), ce reprezintă staţia din inel care generează token-ul, stabileşte ceasul de referinţă în inel, generează procesul periodic de notificare a staţiilor vecine, recuperează token-ul pierdut;
- stabilirea grupului de parametri valabili pentru toate staţiile din inel (*ring parameter server*);
- monitorizarea erorilor din inel şi elaborarea de statistici (*ring error monitor*);
- elaborarea unui raport de configurare (*configuration report server*), funcţie ce colectează de la staţii informaţii de configurare, le livrează administratorului de reţea şi de asemenea poate realiza comenzi ale administratorului de reţea referitoare la schimbarea configurării sau scoaterea unor staţii din reţea.

Toate aceste funcţii sunt realizate prin intermediul unor adrese funcţionale (*functional addresses*), fiind adrese de multicast administrate local.

Se descriu în continuare principalele funcţii de control şi gestionare realizate într-o reţea 802.5.

Alegerea monitorului activ

Regula de stabilire a staţiei cu rol de monitor activ statuează că la un moment dat, în reţea există un **singur monitor activ** (*active monitor*), stabilit printr-un proces de alegere (proces numit *claim token*), celelalte staţii fiind într-o stare de aşteptare (*standby monitor*), putând deveni monitor activ, în cazul ivirii de probleme cu cel existent.

În faza de alegere a monitorului activ, toate staţiile candidate transmit continuu un cadru special '*Claim token*'. Acest pachet conţine, pentru fiecare staţie, propria valoare de solicitare pentru a deveni monitor activ (valoare stabilită pe baza adresei sale în inel). În timpul procesului de alegere, fiecare staţie compară valoarea de solicitare (*claim value*) din pachetul receptat, cu propria valoare. Dacă valoarea proprie este superioară celei recepţionate, continuă emiterea de pachete de solicitare, iar dacă valoarea proprie este inferioară valorii din pachetul recepţionat, întrerupe emisia de pachete '*Claim token*' şi doar repetă la ieşire pachetele recepţionate. În acest fel, la sfârşit, doar o singură staţie va recepta doar propria valoare de *claim*, realizând că a devenit monitorul activ.

Această staţie îşi va începe activitatea prin iniţializarea reţelei, prin curăţirea ei (*ring purge*) şi va genera un nou token.

Monitorul activ îşi va face simţită prezenţa în reţea prin generarea periodică a unui pachet '*Active Monitor Presence*' (**AMP**), către toate staţiile din inel. Dacă o staţie din inel de tip monitor în aşteptare (*standby monitor*) nu recepţionează un astfel de pachet o perioadă mai lungă decât durata **TSM** (*Timer Standby Monitor*), poate iniţia un nou proces de alegeri, prin emitera de cadre '*Claim token*'.

Notificarea staţiei vecine

Cadrele de control '*AMP*', generate cu o perioadă de repetiţie dată de valoarea parametrului **TAM** (*Timer Active Monitor*) mai au încă un rol, şi anume de notificare a staţiilor vecine (*neighbor notification*). Prin acest proces, fiecare staţie din inel va lua cunoştinţă (va notifica) adresa staţiei active 'din amonte', cea legată la linia '*ring-in*' a staţiei curente. Adresa este notată **UNA** (*Upstream Neighbor Address*), sau **NAUN** (*Nearest Active Upstream Neighbor*). Procesul de notificare se desfăşoară în următoarea secvenţă:

- Prima staţie activă ce urmează monitorului activ (este situată 'în aval' faţă de monitor), în momentul când primeşte un cadru AMP, execută operaţiile:
  - setează pe 1 biţii **A** (*Address recognized*) şi **C** (*frame Copied*), din câmpul de stare cadru **FS**;
  - copiază cadrul '*AMP*' recepţionat şi memorează adresa staţiei emiţătoare (a staţiei vecine) într-o locaţie de memorie notată **SUA** (*Stored Upstream neighbor's Address*);

- transmite către toate stațiile (în broadcast) un cadru **'SMP'** (*Standby Monitor Presence*);
- prima stație activă în aval de stația transmițătoare a cadrului *'SMP'*, va recepționa acest cadru, va memora adresa stației sursă a cadrului (a stației vecine) și va genera și ea un cadru *'SMP'*, pentru a notifica mai departe prezența sa.

Algoritmul continuă până când fiecare stație va cunoaște adresa stației vecine.

Refacerea token-ului

În rețea pot interveni disfuncționalități, ce trebuie sesizate de monitorul activ. Astfel, dacă monitorul nu recepționează nici un pachet de date valid sau un token valid, un interval de timp mai mare decât valoarea timer-ului de transmisie validă **TVX** (*Timer Valid Transmission*), el realizează că s-a pierdut token-ul, sau se desfășoară o transmisie de lungime superioară celei permise. În acest caz el emite un pachet de curățire a inelului (cadrul de control *'Purge'*) și incrementează contorul de erori, folosit pentru raportarea statisticilor. Dacă acest pachet de curățire parcurge rețeaua și se întoarce nemodificat la monitor, este situație de eroare pierdere token, deci monitorul poate emite un nou token în rețea, fără șanse de apariție a duplicării. Dacă însă în interval de timp superior valorii date de **TNT** (*Timer No Token*), monitorul nu recepționează pachetul de curățire cu propria adresă sursă, intră în modul de funcționare monitor în așteptare și la expirarea perioadei TSM inițiază procesul de alegere a monitorului activ.

Procesul de alegere a monitorului activ poate să se întrerupă în mod fatal, dacă în rețea apare o eroare datorită căderii unei stații sau a unei porțiuni din inel, caz în care trebuie inițializat procesul de izolare a defectului (*beacon process*).

Izolarea defecțiunilor apărute în rețea

Procesul de izolare a defectelor (căderilor) apărute în rețea, de balizare a rețelei (*beacon process*), se inițiază odată cu întreruperea fatală a procesului de alegere a monitorului activ. El implică izolarea stației defecte sau a segmentului de rețea defect.

Fie inelul din figura 4.24 și să considerăm că stația A a inițiat un proces de alegere de monitor activ, proces care nu a reușit însă. Stația A cunoaște adresa predecesorului său, în cazul nostru a stației D. Ea inițiază un proces de izolare a defectului, de balizare a rețelei, prin emiterea în broadcast a cadrului special de balizare (cadrul *'Beacon'*), care conține adresa vecinului său (a stației D, în acest caz). Odată cu transmiterea cadrului, se startează și timer-ul asociat **TBT** (*Timer Beacon Transmit*).

Dacă stația D va recepta cadrul de balizare emis de A (verifică adresa UNA din cadru și realizează că este adresa proprie), intră într-o secvență de auto-test, excluzându-se din rețea (prin acționarea releului bypass dintre liniile *'ring-in'* și *'ring-out'*, realizând conectarea directă a acestor linii). Dacă rezultatul auto-testului este bun, stația reintră în inel, dacă nu, rămâne exclusă, și deci defectul a fost izolat. Reintrarea în inel se face simplu, prin stabilirea unei diferențe de potențial între liniile sale de *'ring-in'* și *'ring-out'*, sesizată imediat de monitor, care permite reintrarea stației în inel.

La terminarea perioadei date de timer-ul TBT, și stația A va intra într-o secvență de auto-test, excluzându-se din rețea și verificând dacă nu constituie ea originea defectului. Dacă și pentru A rezultatul este pozitiv, se trece la verificarea conexiunilor fizice ale stațiilor către concentrator și a concentratorului însuși.

Sistemul de priorități pentru acces

Accesul bazat pe priorități este o soluție pentru posibilitatea folosirii rețelei în aplicații diverse, ce necesită tratarea diferențiată a acțiunilor (și respectiv a cadrelor), după prioritatea lor. Spre exemplu, la o rețea locală pot fi conectate nu numai calculatoare, ci și elemente de supraveghere sau de conducere a proceselor. Acestea, lucrând în timp real, vor necesita tratarea lor cu prioritate față de, spre exemplu, pachetele obișnuite de date schimbate de două calculatoare dintr-un birou.

Pentru aceasta, rețeaua 802.5 prevede un mecanism de acces la mediu cu priorități, realizat prin intermediul perechilor de subcâmpuri de biți de prioritate și de rezervare (subcâmpurile **PPP** și **RRR** din câmpul de control al accesului **AC**), din cadrul unui pachet de date, sau din cadrul pachetului token.

Regula de bază a accesului este că o stație nu poate transmite cadre în rețea dacă nu posedă o prioritate mai mare, sau cel puțin egală, cu cea a token-ului ce circulă în rețea și pe care are dreptul să-l rețină.

Celelalte reguli de acces pe bază de priorități sunt:

- o stație care dorește să transmită, având o anumită prioritate, trebuie să solicite generarea unui token cu acea prioritate; acest lucru îl face setând, la valoarea priorității sale, biții de rezevare dintr-un pachet în tranzit;
- stația care generează un token, sau îl eliberează după terminarea unei transmisii, poate ridica prioritatea, în funcție de valoarea înscrisă în câmpul de rezervare; token-ul inițial, eliberat de monitorul activ are prioritatea 0;
- un pachet de date, pe timpul traversării inelului, poate avea de mai multe ori modificat subcâmpul de rezervare;
- numai stația care a ridicat valoarea priorității token-ului are dreptul de a o coborî, și o va face la următoarea sesizare a token-ului; în acest mod se vor acorda șanse de transmisie echitabile și stațiilor cu prioritate scăzută.

Principalele secvențe temporale de control

Funcțiile îndeplinite de protocolul MAC, descrise mai sus, sunt în general condiționate de anumite valori temporale, date de elemente controloare ale perioadei de timp (*timere*). Se enumeră în continuare principalele timere folosite de procesele necesare desfășurării protocolului MAC 802.5:

- timer-ul pentru perioada de deținere a token-ului **THT** (*Timer Holding Time*), indicând timpul maxim cât o stație poate deține token-ul; valoare maxim admisă de standard este de 8,9ms;
- timer-ul de perioadă de transmisie **TVX** (*Timer Valide Transmission*), sau valoarea maximă de timp între două transmisii corecte de cadre de date sau token (valoare standard de 10ms);
- timer-ul pentru absență token **TNT** (*Timer No Token*), indicând valoarea maxim admisă pentru așteptarea de către monitorul activ a întoarcerii token-ului generat (standard 2,6s);
- timer-ul pentru monitor activ **TAM** (*Timer Active Monitor*) sau valoarea maxim admisă în care un monitor activ trebuie să-și notifice prezența celorlalte stații (valoare standard 7s);
- timer-ul pentru monitor în așteptare **TSM** (*Timer Standby Monitor*), valoarea maximă de așteptare în care un monitor standby relevă prezența pachetului ce indică monitorul activ sau prezența token-ului (15s);
- timer-ul pentru balizare **TBT** (*Timer Beacon Transmit*), valoarea maximă pentru care o stație rămâne în stare de transmitere de cadru de balizare, înainte de a intra în secvența de auto-test (160ms).

4.4.6. Nivelul fizic specificat de standardul 802.5

Nivelul **Fizic** specificat de standard se referă la aspectele electrice, mecanice, funcționale, asociate cu transmiterea fluxului de biți în mediu.

Datele sunt codificate după metoda Manchester diferențială, deci informația de ceas este purtată de biții de informație. Singur monitorul activ este cel care generează ceasul folosit în rețea. Pentru sincronizarea stațiilor cu ceasul monitorului se prevăd biții suplimentari de sincronizare; ei sunt necesari datorită *jitter*-ului (afectării fazei semnalului din mediu datorită componentelor pasive din rețea), care poate deveni important într-o rețea 802.5, datorită numărului mare de componente pasive utilizate. De aceea standardul limitează numărul de stații din rețea precum și lungimea maximă a cablurilor folosite.

Ca medii de transmisie, standardul inițial **IBM** și versiunea timpurie **IEEE 802.5**, specificau cablul torsadat STP cu impedanța de 150Ω. Versiunile noi permit și utilizarea de cablu UTP, categoriile 3,4 și 5. Pentru rețele lucrând la 16Mbps se folosește în general doar cablu UTP categoria 5.

Folosirea cablului STP incumbă conectare cu conectori IBM de tip hermafrodit (descriși în capitolul 3, cablarea structurată), iar folosirea cablului UTP, implică folosirea conectorilor RJ45. Când cablajul se realizează cu cablu UTP, între stație și cablu se inserează un filtru (*media filter*), pentru adaptarea impedanței de ieșire a stației, de 150Ω, cu cea a cablului, de 100Ω.

Cablajul unei rețele Token Ring, deși parcursul informației urmează un inel, este de tip **stelar**, prevăzând un element central de tip concentrator (*Token Ring hub*). Aceasta din rațiuni de mărire a fiabilității și ușurință în întreținere. Concentratorul este de obicei situat într-un loc accesibil, într-un dulap. De la acest concentrator pornesc 'razele' stelei, mai corect spus lobii rețelei, fiecare lob format din stație și cablurile împreună cu conectorii care o conectează la concentrator. Rețelele uzuale folosesc concentratoare cu 8-20 de lobi. Numărul de stații dintr-o rețea și deci numărul maxim de concentratoare ce poate fi folosit, precum și lungimea cablului de conectare dintr-un lob, depind de viteza de transmisie, tipul de concentratoare, tipul de cablu și conectorii folosiți (parametri de diafonie și atenuare introduse). Se pot folosi mai multe concentratoare, interconectate între ele, arhitectura reală a rețelei devenind acum de tip 'fulg de nea' (*snow-flake*). În general numărul de stații conectate la un inel este limitat atât de standardul **IBM** cât și de **IEEE 802.5**, la 260 stații, cu modificări datorate condițiilor specifice.

Se deduce că echipamentele de tip concentrator vor trebui să posede diverse tipuri de circuite de interfață: interfața cu lobii proprii și interfața cu alte concentratoare. În plus, pentru motive de securitate, concentratorii realizează, pe lângă traseul principal (inelul de bază) și un traseu de salvare (*backup*), care face ca la un defect intern al concentratorului, el să se decupleze de la rețea fără a o afecta în mod drastic.

Tipurile de concentratori permise de standard sunt:

- *concentratoare pasive*

  Sunt compuse doar din conectori și relee bypass neautomate; ele permit, în anumite condiții, o lungime de cablu în lob relativ mică, inferioară normelor EIA/TIA pentru cablarea structurată.

- *concentratoare active*

  Compuse din conectori obișnuiți, dar și din circuite de amplificare și temporizare, atât pentru partea de interconectare a concentratoarelor (pentru trunchiurile de interconectare), cât și pentru circuitele din lobi; conține relee automate pentru porțile lobilor.

- *concentratoare parțial active*

  Prevăd circuite de amplificare și retemporizare doar în partea de interconectare.

Aceste din urmă tipuri de concentratoare prevăd posibilitatea de cablare a lobilor cu cabluri de lungime de peste 100m, chiar 300m pentru cablu STP, sau 200m în cazul cablului UTP-5.

4.5. Comparaţie între standardele 802.3, 802.4 şi 802.5

Datorită considerării celor trei standarde ca fundamentale pentru definirea şi problematica reţelelor locale, pe parcursul anilor '80 s-a dat mare importanţă studierii comparative a metodelor de acces la mediu folosite şi a performanţelor efective ale celor trei tipuri de reţele.

Deşi per global, cele trei tipuri de reţele au performanţe relativ similare, fiind dezvoltate în aceeaşi perioadă de timp şi folosind tehnologia disponibilă în acea perioadă, deci o comparaţie amănunţită nu îşi mai are astăzi rostul, în continuare se vor sumariza aspectele pozitive şi negative ale fiecărui standard şi se vor evidenţia deosebirile dintre implementari, în contextul problematicii discutate în capitolul următor, aceea a interconectării reţelelor locale.

Reţeaua **802.3**, mai ales prin implementările **Ethernet** existente, constituie tipul de LAN cel mai folosit, fiind şi cel mai cunoscut. Algoritmul de acces la mediu, de tip CSMA/CD, este simplu, se comportă bine la încărcări mici şi medii ale reţelelor, dar puţin satisfăcător pentru încărcări mari. Practic, în aceste condiţii viteza efectivă de lucru scade drastic de la 10Mbps către jumătate. De asemenea algoritmul este nedeterminist (nu se poate prevedea timpul de aşteptare pentru acces) şi nu prevede tratarea priorităţilor, lucru ce îl fac inutilizabil pentru reţele industriale sau lucrul în timp real. Practic, reţeaua Ethernet prezintă avantajul utilizării unor medii de transmisie ieftine (şi diverse), dar ea implică o importantă componentă analogică (necesită circuite electronice analogice), are limitări serioase în ceea ce priveşte lungimea segmentelor şi lungimea totală a reţelei. Lungimea cadrului 802.3 este limitată atât inferior, la 64 de octeţi, cât şi superior, la aproximativ 1500 octeţi, dimensiune mică raportată la cele ale cadrelor reţelelor Token Bus şi Token Ring.

Cu toate aceste limitări, reţeaua 802.3 (practic reţeaua Ethernet, mai exact) a avut şi are o importanţă covârşitoare pentru evoluţia LAN, chiar şi reţelele de mare viteză fiind bazate încă pe filozofia Ethernet.

Reţeaua **802.4** a fost concepută pentru automatizarea benzilor de producţie, de unde avantajele oferite de algoritmul de acces la mediu (de tip **Token Bus**) pentru tratarea priorităţilor cadrelor şi rezolvarea deterministă a accesului la mediu. Comportarea sa este bună pentru încărcări mari ale reţelei (mai puţin satisfăcătoare pentru încărcare slabă a reţelei) şi de asemenea reţeaua poate fi configurată pentru a oferi lăţime garantată de bandă. Protocolul este însă complex şi dificil de implementat în mod complet şi corect. Implementările

folosesc tehnologie analogică, nu admit utilizarea fibrei optice, deci viitorul nu îi este favorabil. Cadrele au o lungime maximă limitată în jur la 8000 octeţi şi o structură incompatibilă cu cele 802.3.

Reţeaua **Token Ring**, standard **802.5**, aduce pregnant avantajele algoritmului de acces la mediu, bazat pe folosirea jetonului, având o comportare excelentă pentru încărcări mari ale reţelei şi de asemenea, în condiţiile folosirii unor variante (cu eliberarea anticipată a jetonului), prevede o comportare bună şi la trafic scăzut (este şi motivul pentru care reţele rapide, bazate pe fibra optică, au preluat algoritmul). Algoritmul Token Ring foloseşte mecanisme de achitare, implementează un sistem de priorităţi şi are un caracter determinist. Implementările sunt bazate pe legături punct-la-punct, pe configuraţii stelare şi centre de cablaj, pe medii de transmisie variate, oferind fiabilitate ridicată şi usurinţă în întreţinere. Cadrele de date sunt de lungime flexibilă, neavând limitări prestabilite de lungime. Un dezavantaj al metodei ar fi folosirea controlului centralizat, prin intermediul monitorului activ; apar probleme mai ales în situaţiile de funcţionare defectuoasă a sa. Nici cadrul 802.5 nu este compatibil cu vreunul din cele precedente.

Toate aceste caracteristici fac deloc simplă interconectarea a oricăror două reţele locale de tip 802.x.

5. REȚELE LOCALE DE MARE VITEZĂ ȘI ALTE STANDARDE IEEE 802

Competiția între proiectanții și fabricanții de elemente pentru rețelele locale, competiție destinată creșterii vitezei de transmisie, a fiabilității rețelelor, dar și a menținerii costurilor în domenii abordabile, este în plină desfășurare. Sunt numeroase propuneri pentru dezvoltarea de rețele locale de mare viteză, numite **HSLAN** (*High Speed LAN*). În general aceste propuneri pot fi împărțite în două mari grupe:

- propuneri pentru dezvoltarea rețelelor de tip **Ethernet**; în această categorie pot fi încadrate rețelele **100BaseX** (cu variantele 100BaseTX, 100BaseT4 și 100BaseFX), **Switched Ethernet, Full Duplex Ethernet**;
- propuneri pentru dezvoltarea de **HSLAN** nebazate pe soluții Ethernet; aici se pot menționa rețelele **100BaseVG, FDDI, DTR**, rețelele **ATM**.

5.1. Rețeaua FDDI și standardul ISO 9314

Dezvoltarea acestei rețele rapide, **FDDI** (*Fiber Distributed Data Interface*), de 100Mbps, a fost inițiată de organizația americană de standardizare **ANSI** (*American National Standard Institute*), fiind proiectată pentru fibră optică, dar admițând actualmente și cablurile torsadate UTP pentru conectarea stațiilor atașate cu stațiile de tip concentrator.

Curent, o rețea FDDI este considerată a avea o viteză de transmisie de 100Mbps la nivelul **Legăturii de date** și o viteză de 125Mbps la nivel **Fizic**, datorită modului de codificare a datelor, de tip 4B/5B. Topologia logică este de inel, care poate fi cablat ca stea, dacă se folosesc concentratori activi. Cablajul fizic constă de fapt din două inele, unul principal (*primary ring*), utilizat pentru transmiterea datelor și unul secundar (de salvare - *backup*), aflat normal în stare de așteptare (*idle*), lucru ce face posibilă izolarea fără pierderi a defectelor din rețea (figura 5.1). În caz de defect (cădere stație sau tronson inel), inelul principal se va închide prin cel secundar, care trece din stare pasivă în stare activă. Parcursul datelor va fi acum mai lung, lucru ce trebuie considerat la proiectarea fizică a rețelei.

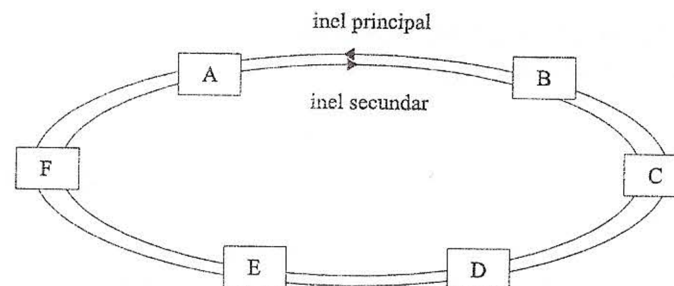


Figura 5.1 Inelele unei rețele FDDI

Într-o rețea FDDI există trei tipuri de stații, ilustrate de figura 5.2:

- stații cu atașare la ambele inele, numite în standard stații **DAS** (*Dual Attachment Station*); sunt stații fiabile, complexe, posedă releu bypass pentru izolare de inel, îndeplinesc funcții de gestionare, dar au prețuri ridicate;
- stații atașate la un singur inel (cel primar), numite **SAS** (*Single Attachment Station*); sunt stații ce se conectează la rețea prin intermediul unui concentrator, nu posedă proprietăți deosebite de detectare și izolare defecte (aceasta o face concentratorul); se conectează prin cablu STP sau UTP la concentrator, și au avantajul unui preț scăzut;
- stația de tip concentrator **DAC** (*Dual Attachment Concentrator*); este un concentrator activ care permite conectarea stațiilor SAS la rețea; are sarcini de gestionare, posedă bypass de izolare pentru stațiile SAS.

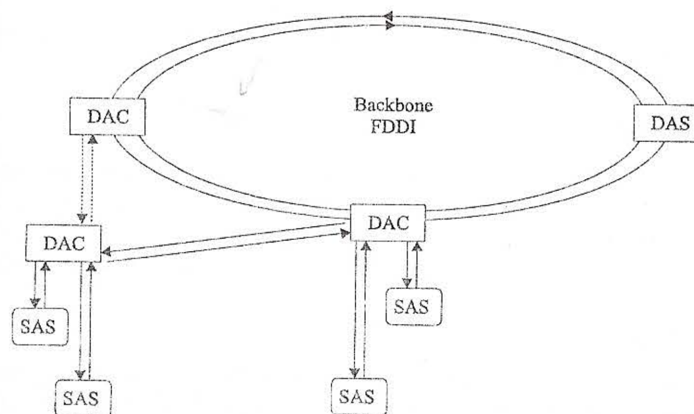


Figura 5.2 Tipuri de stații în rețea FDDI

5.1.1. Elementele componenete ale standardului ISO 9314

Standardul FDDI este constituit din patru substandarde:

- descrierea subnivelului fizic dependent de mediu **PMD** (*Physical Medium Dependent*);
- descrierea subnivelului fizic independent de mediu PHY;
- descrierea metodei de acces la mediu şi a nivelului MAC;
- descrierea gestionării reţelei **SMT** (*Station ManagemenT*).

Elementele componente ale standardului sunt schiţate de figura 5.3.

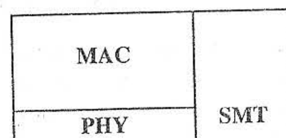


Figura 5.3 Elementele standardului

Subnivelul PMD

Subnivelul **PMD** (*Physical Medium Dependent*) este componenta de jos a nivelului **Fizic** şi specifică elementele fizice necesare conectării staţiilor FDDI şi interfaţa necesară cuplării staţiilor la mediile de transmisie folosite. El specifică natura şi nivelul semnalelor, caracteristicile circuitelor electronice pentru recepţia şi transmisia datelor în mediu, caracteristicile mecanice şi electrice ale cablurilor şi conectorilor folosiţi.

Subnivelul PHY

Subnivelul PHY constituie partea superioară (independentă de mediu) a nivelului **Fizic**, având ca sarcini codificarea/decodificarea cadrelor FDDI, sincronizarea, combinarea/separarea semnalelor de ceas şi de date, compensarea diferenţelor între semnalele de ceas ale staţiilor adiacente.

Subnivelul MAC

Subnivelul MAC constituie partea inferioară a nivelului **Legăturii de date**, partea superioară a nivelului constituind-o şi aici substratul LLC 802.2. Substratul MAC se ocupă de furnizarea serviciilor de acces la mediu (în cazul FDDI mediul este realizat prin inel de fibră optică, eventual cu segmente de legătură realizate cu cablu UTP sau STP). Serviciile oferite prevăd iniţializarea inelului, transmisia şi recepţia datelor în inel, izolarea defectelor.

Protocolul SMT

Pentru monitorizarea inelului şi gestionarea activităţii staţiilor cuplate la inel, standardul FDDI prevede un substandard specific, numit **SMT** (*Station ManagemenT*). El prevede gestionarea conexiunii, prin realizarea operaţiilor de inserare/decuplare a unei staţii în inel, gestionarea inelului şi a configuraţiei sale, prin iniţializarea unei staţii, configurarea staţiei, izolarea defectelor în inel, colectarea erorilor şi elaborarea de statistici. Se observă că standardul FDDI degrevează protocolul MAC de anumite sarcini (precum cele de contorizare erori, elaborare de statistici, executate la nivel MAC într-o reţea Token Ring), atribuindu-le unui protocol special de management.

5.1.2. Metoda de acces la mediu

Metoda de acces la mediu pentru FDDI este tot o metodă bazată pe jeton (*token*), dar activitatea este controlată de un ceas (timer), de aceea poartă denumirea **TTP** (*Timed Token Passing*). Esenţa metodei de acces (cu multe similitudini spre Token Ring), constă în următoarele aserţiuni:

- în reţea circulă un singur token;
- o staţie poate transmite doar când deţine jetonul; spre deosebire de algoritmul Token Ring, aici achiziţionarea jetonului şi transformarea sa în început de cadru nu se face prin modificarea unui bit, ci prin absorbţia sa din inel şi începerea generării cadrului de date;
- fiecare staţie transmite datele în mod serial, ca un flux de **simboluri**;
- fiecare staţie repetă şirul de simboluri recepţionat către staţia vecină în inel;
- staţia eliberează un cadru token **imediat** după terminarea transmisiei;
- transmisia datelor poate fi sincronă sau asincronă;
- transmisia sincronă este prioritară celei asincrone;
- transmisia asincronă este similară celei de la Token Ring, varianta cu eliberarea anticipată a cadrului token, fapt ce duce la structuri apropiate de cadre MAC şi existenţa unui set de timere similar cu cel de la 802.5;
- există staţie cu rol de monitorizare a reţelei, aleasă dintre staţiile active;
- topologia logică a reţelei este de inel unidirecţional;

- implementează un algoritm de prioritate pentru cadre similar cu cel de la standardul 802.4.

Simbolul este unitatea de reprezentare a datelor folosită de protocolul MAC din standardul FDDI, şi el constă dintr-un grup de patru biţi, care se va codifica/decodifica la nivelul **Fizic** în grup de cinci biţi (metoda de codificare 4B/5B). Simbolurile sunt fie de date, fie de control. Tabelul 5.1 prezintă codificarea simbolurilor MAC (vezi capitolul 5.1.6).

5.1.3. Formatul cadrului token şi a cadrului de date FDDI

Structurile cadrului de date MAC FDDI şi a cadrului token, sunt asemănătoare cu cele de la Token Ring, datorită asemănărilor la nivelul MAC; cele două cadre sunt ilustrate de figura 5.4 şi respectiv 5.5.

Cadrul de date:

Simboluri	16 -	2	2	12	12	0 - 8956	8	2	3 -
	Preambul	SD	FC	DA	SA	Info	FCS	ED	FS

Figura 5.4 Structura cadrului de date

Cadrul de token:

Simboluri	16 -	2	2	2
	Preambul	SD	FC	ED

Figura 5.5 Structura cadrului token

Semnificaţia câmpurilor din cele două cadre este următoarea:

Câmpul **Preambul**

Compus din 16 sau mai multe simboluri I (simbol *idle*), este localizat în faţa cadrului de date sau a celui de token, fiind utilizat de o staţie receptoare pentru a-şi sincroniza ceasul propriu cu cel al staţiei emiţătoare. Aici nu avem autosincronizare (posibilă unde se foloseşte codarea Manchester), iar stabilitatea ceasului reţelei FDDI trebuie să fie foarte bună.

Câmpul **SD** (*Start Delimiter*)

Este prezent în ambele cadre, de date şi de token, fiind un câmp cu rol identic ca la reţeaua Token Ring, de delimitare a începutului cadrului; are o structură formată din două simboluri non-data, numite J şi K. Cele două câmpuri formează (precum la protocolul MAC 802.5), secvenţa de început de cadru **SFS** (*Start-of-Frame Sequence*). De aici încolo putem considera că începe cadrul propriu-zis.

Câmpul **FC** (*Frame Control*)

Este comun celor două tipuri de cadre, el având însă conţinut diferit, după cum face parte din cadrul de date, sau din cadrul de token. Dacă face parte din cadrul de date, el indică dacă acel pachet este transmis sincron (cazul transmisiilor de voce sau video), sau transmis asincron, cazul transmisiei de date. În acest ultim caz, el va indica de asemenea dacă câmpul **Info** al cadrului curent transportă unităţi de date LLC (pachet de date utilizator), sau unităţi de date MAC, în cazul cadrelor de control.

Câmpurile **DA** (*Destination Address*) şi **SA** (*Source Address*)

Sunt prezente în cadrul de date, fiecare conţinând câte 12 simboluri; transportă adresele staţiei destinatare şi a staţiei emiţătoare ale cadrului curent.

Câmpul **Info**

Este de lungime variabilă, până la 8.956 simboluri, conţine date de tip LLC PDU, date utilizator propriu-zise, sau MAC PDU, acestea utilizate pentru efectuarea unor operaţiuni de gestionare a reţelei (sunt numite **cadre de serviciu**).

Câmpul de control a erorii **FCS** (*Frame Check Sequence*)

Conţine suma de control generată de polinomul generator CRC, pe baza câmpurilor anterioare din cadru.

Câmpul **ED** (*End Delimiter*)

Are o structură asemănătoare cu a câmpului **SD**, şi foloseşte la a pune în evidenţă sfârşitul logic al cadrului. Este un câmp comun cadrului de date şi de token.

Câmpul **FS** (*Frame Status*)

Aflat într-un cadru de date, are o semantică similară celei de la reţeaua 802.5, şi conţine un număr necesar de simboluri (cel puţin 3), simboluri ce iau valori de tip R şi S (0 şi 1 logic), cu rol de indicare a realizării sau nu a anumitor acţiuni, precum:

- indicator de eroare (*error detected indicator*), setat de orice staţie de pe traseul cadrului, care a detectat o eroare asupra datelor din cadru;
- indicator de recunoaştere a adresei (*address recognized indicator*), setat de staţia care recunoaşte în câmpul adresă destinaţie (câmpul DA), propria adresă;

- indicator de copiere a cadrului (*frame copied indicator*), setat de stația care a copiat din rețea respectivul pachet.

Cadrele sincrone, care transportă date sincrone de tip PCM sau date ISDN, sunt generate la fiecare 125μs de o stație (master), furnizând o rată de eșantionare de 8000 eșantioane/secundă. Fiecare cadru are un antet, un câmp de 16 octeți de date transmise fără comutare de circuite și un câmp de 96 de octeți pentru datele transmise cu comutare de circuite. Se asigură astfel transmisia pentru până la 96 de canale PCM. Metoda de transmisie sincronă implică ca o stație să primească una sau mai multe cuante de timp într-un cadru sincron, folosindu-le până la terminarea transmisiei, când le eliberează în mod explicit.

5.1.4. Operații executate la nivelul MAC

Transmiterea, recepția și repetarea cadrelor

Transmisia cadrelor poate fi de două tipuri:

- *sincronă*, transmisie care se efectuează pentru transportul de voce sau informație video, cadrele transmise fiind sub incidența unor condiții restrictive de timp de răspuns (vocea), sau de bandă garantată (semnalul video);
- *asincronă*, transmisia fiind uzual folosită pentru transportul datelor în rețea.

Transmisia sincronă este prioritară transmisiei asincrone, astfel încât o stație care dobândește dreptul la transmisie, va transmite întâi cadrele sincrone, apoi în limita timpului rămas, pe cele asincrone.

Transmisia asincronă la nivelul MAC FDDI este similară modalității MAC Token Ring cu eliberarea anticipată a jetonului (prin această modalitate, stația transmițătoare va elibera cadru token în rețea imediat după ce a terminat transmisia, neașteptând revenirea cadrului). O altă deosebire ar fi că timpul maxim de deținere al token-ului, dat de valoarea timer-ului **THT** (*Timer Holding Token*) nu este fix, ci este setat dinamic, pentru a se asigura un timp impus de rotație a token-ului în inel sau o bandă necesară în cazul transmisiei sincrone.

Pentru ilustrarea mecanismului de transmisie, recepție și repetare a cadrelor, se consideră un exemplu. Pentru transmisia asincronă, mecanismele fiind identice cu cele de la Token Ring, nu se mai repetă în amănunt toate acțiunile de setare la nivelul subcâmpurilor din cadru.

Fie o rețea cu patru stații A, B, C și D (figura 5.6) și să presupunem că stația A dorește să transmită un mesaj (numit M1) către stația C. Să presupunem de asemenea că în secvența de timp următoare începutului transmisie stației A, stația B va avea de transmis un mesaj (fie el M2) către stația A.

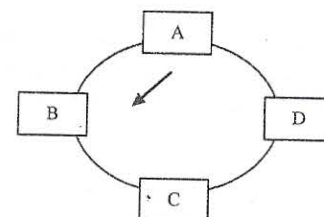


Figura 5.6 Exemplu de inel

Transmisia celor două stații va avea loc după următorul algoritm:

- Stația A așteaptă recepția unui token, și când îl sesizează, îl reține. Ea modifică câmpul de control cadru **FC**, transformând token-ul în început de cadru de transmis; de asemenea inhibă operația de repetare.
- Stația A începe transmisia propriilor date, adică a mesajului (notat M1) către stația C.
- Când stația a terminat de transmis mesajul M1, transmite imediat în rețea cadrul de token și reîncepe funcția de repetare a simbolurilor.
- Când mesajul M1, parcurgând rețeaua, a ajuns la stația C, aceasta își recunoaște în câmpul adresă destinație **DA** propria adresă și inițiază operația de copiere. La sfârșitul operației de copiere (terminată cu succes), va seta subcâmpul 'indicator de cadru copiat', din câmpul **FS** (stare a cadrului).
- În timpul cât stația A a transmis date în rețea, stațiile care nu au posedat jetonul (stațiile B, C și D) au îndeplinit doar funcția de repetare a simbolurilor recepționate din rețea. Fiecare stație însă compară propria adresă cu adresa conținută în câmpul **DA**, pentru a sesiza dacă cadrul curent îi este adresat, sau este cadru de broadcast.
- Dacă ele au detectat eroare de date, semnalează aceasta prin setarea subcâmpului 'indicator de eroare detectată' din câmpul **FS**.
- Dacă una dintre celelalte stații, în acest timp cât stația A a transmis, și mesajul M1 circulă în rețea, **are de transmis date**, are acum posibilitatea să o facă, căci jetonul este liber. Spre exemplu, dacă stația B are de transmis un mesaj, notat M2, către stația A, de exemplu, el așteaptă jetonul, pe care îl va dobândi după ce stația A l-a disponibilizat. Stația B dobândește token-ul și începe transmisia mesajului M2. După transmisia lui M2, stația B eliberează token-ul în rețea.
- Când mesajul M1, traversând inelul, ajunge înapoi la stația A, aceasta se va recunoaște ca stație sursă și îl va scoate din inel.
- Când mesajul M2 ajunge la stația A, aceasta se recunoaște ca destinatar al mesajului și îl va copia în mod corespunzător.
- Când mesajul M2 va ajunge la stația sursă B, aceasta îl va scoate din inel.

De remarcat că decizia de scoatere din inel a cadrului propriu (*frame stripping*) se ia prin analiza câmpului de adresă sursă **SA**, deci întreruperea procesului de repetare se întâmplă după repetarea în inel de către stația sursă a câmpurilor **Preambul**, **SD**, **FC**, **DA** și **SA**. Acest lucru face ca în inel să circule un pseudocadru rezidual, care trebuie îndepărtat. Operația de îndepărtare a reziduului se execută de către prima stație transmițătoare din cale, sau de către stația monitor, printr-o operație de curățire inel (*ring purge*).

5.1.5. Funcțiile de monitorizare ale inelului FDDI

Fiecare stație activă din inel verifică în continuu starea inelului, pentru depistarea disfuncționalităților ce se pot ivi (inel inactiv, activitate ce nu se încadrează în parametrii setați la inițializare, etc.). La depistarea acestor defecte se va declanșa reinițializarea inelului.

La **inițializarea rețelei**, înainte de a se desfășura alegerea stației cu rol de monitor, fiecare stație care formează inelul intră într-o fază de auto-test și de asemenea ia cunoștință de stațiile vecine, schimbând informații prin intermediul conexiunilor proprii. În acest fel se face o verificare inițială a rețelei.

Procesul de inițializare a inelului sau de reinițializarea a sa după detectarea sau separarea unui defect, continuă cu operația de alegere a stației care generează jetonul (în terminologia FDDI nu se folosește termenul monitor). În acest sens se declanșează un proces de alegere, denumit 'cerere generare jeton' (*claim token*). Procesul de alegere poate fi declanșat de oricare stație din rețea. Ea va transmite în inel pachete de tip 'claim token'. Fiecare stație din rețea va participa la alegere, transmițând inițial pachete de 'claim token', ce conțin valoarea propusă pentru parametrul 'durată rotație token în inel' (timer-ul **TTRT** - *Target Token Rotation Timer*), parametru critic pentru desfășurarea activității în rețea. În același timp, fiecare stație va controla pachetele de 'claim token' recepționate. Dacă o stație recepționează un pachet de 'claim token' cu o valoare de TTRT înscrisă mai mică decât cea proprie, va înceta activitatea de transmitere pachete de 'claim token'. Ea va repeta doar pachetele de 'claim token' recepționate. Dacă însă recepționează pachete de 'claim token' cu valoarea TTRT egală cu cea proprie, alegerea va fi făcută de adresa sa MAC. Stația care are adresa MAC inferioară va înceta generarea pachetelor proprii de 'claim token', repetând doar pe cele receptate. La sfârșitul procesului, doar o stație este învingătoare, ea fiind cea care va genera token-ul și va impune parametrii inelului.

Pentru aducerea la cunoștința tuturor stațiilor a stării inițiale a inelului, stația învingătoare generează token-ul cu valoarea TTRT înscrisă. Fiecare stație va copia această valoare într-o locație proprie, și deci după acest ultim tur de token, inelul este complet inițializat și operațional.

La depistarea de către oricare stație activă din rețea a unor defecte privind nefuncționarea inelului sau funcționarea sa în afara parametrilor setați la inițializare, se declanșează procesul de depistare și izolare a defectului.

Pentru izolarea defectelor, pentru balizarea inelului, secvența de procese este următoarea:

- Stația care a detectat defect în inel declanșează un proces de 'claim token'.
- Dacă procesul de 'claim' a eșuat, stația declanșează procesul de balizare, prin emiterea de pachete de balizare (pachete 'beacon'), care conțin adresa vecinilor săi. Fiecare stație care a recepționat un pachet de balizare își întrerupe activitatea și repetă pachetul de 'beacon' receptat.
- Stația care își recunoaște adresa în pachetul de 'beacon' receptat, intră în faza de auto-test, desfășurată de o manieră similară cu cea de la protocolul Token Ring.
- Când o stație recepționează propriul pachet de balizare, se presupune că defectul a fost înlăturat și se poate declanșa un proces de reinițializare a inelului.

Defectele care nu pot fi separate prin acest algoritm sunt supuse unor algoritmi deținuți de unitatea de gestionare SMT. Unul dintre aceștia este algoritmul de trasare, care identifică un defect, separând atât tronsonul suspect, cât și stațiile de la capetele sale. Stațiile și tronsonul sunt izolate de rețea, prin activarea inelului secundar, astfel că se stabilește acum un traseu care le ocolește. Stațiile izolate intră într-un proces de test, care stabilește clar dacă sunt defecte; la fel în ceea ce privește tronsonul dintre ele. După eradicarea defectului, ele vor fi reintroduse în rețea, prin semnalarea la nivel **Fizic** a acțiunii, și declanșarea reinițializării rețelei.

Principalele timere folosite de protocolul de la nivelul MAC FDDI sunt:

- Durata propusă pentru rotația token-ului în inel **TTRT** (*Target Token Rotation Timer*), valoare propusă de stație în timpul procesului de inițializare sau reinițializare a rețelei. Valoarea uzual propusă este de 8ms, dar ea este variabilă, putând avea valori între 4ms și 165ms.
- Timer-ul pentru durata maximă a deținerii tokenului **THT** (*Timer Holding Token*); pentru că o stație nu poate transmite un timp superior timpului necesar parcurgerii inelului, timer-ul este inițializat cu valoarea TTRT impusă de stația învingătoare, valoare memorată de fiecare stație.
- Timer-ul pentru durata maximă între două transmisii valide **TVX** (*Timer Valid Transmission*); timer-ul este resetat prin receptarea de către stație a unui token valid sau a unui pachet de date valid. La nerespectarea valorii, stația bănuie un defect datorat unei căderi sau

înrăutățirii parametrilor rețelei, și va declanșa un proces de trasare pentru izolarea defectului. Valoarea timer-ului este uzual 2,62ms.

- Timer-ul pentru durata rotației token-ului **TRT** (*Timer Rotation Token*), care este folosit de stație pentru a verifica corecta secvență a operațiilor în rețea. Timer-ul este resetat la trecerea prin stație a unui token valid, iar valoarea până la care se consideră că rețeaua operează corect este valoarea dată de TTRT a stației generatoare a token-ului curent, valoare aflată memorată în buffer-ele stației.

5.1.6. Nivelul Fizic

Subnivelul PHY

Funcțiile îndeplinite de subnivelul independent de mediu PHY, sunt:

- codificarea **NRZ** (*Non return to Zero*) și **NRZI** (*Non Return to Zero Inverted on one*) a șirului de coduri pentru simbolurile folosite la nivel MAC; simbolurile folosite la nivel MAC sunt codificate după metoda 4B/5B, obținându-se câmpuri (coduri) de cinci biți, care sunt codificate NRZI, apoi NRZ, pentru transmiterea către substratul PMD;
- separarea semnalului de ceas de cel de date în faza de recepție și combinarea lor pentru semnalul transmis;
- compensarea diferențelor de ceas dintre stația curentă și ceasul rețelei, prin prevederea unor buffere de 'elasticizare' a ritmului transmisiei;
- păstrarea numărului de biți din câmpul **Preambul** în limite admise; prin procesul sincronizării, o parte din biți se pierd, substratul PHY ocupându-se de refacerea lor;
- codificarea 4B/5B a simbolurilor primite de la nivelul MAC; tabelul cu codurile pentru simbolurile MAC este dat de tabelul 5.1.;
- determinarea stării liniilor de transmisie și transmiterea sa către protocolul de gestionare SMT, care răspunde de integritatea rețelei; stările posibile ale liniilor sunt și ele codificate, iar codurile sunt date de tabelul cu simbolurile MAC.

Valoare	Simbol	Semantică
00000	Q	stare linie Quiet
11111	I	stare linie Idle
00100	H	stare linie Halt
11000	J	prima parte a câmpului Start Delimiter
10001	K	a doua parte a câmpului Start Delimiter
11110	0	simbolul pentru valoarea 0
01001	1	simbolul pentru valoarea 1
10100	2	simbolul pentru valoarea 2
10101	3	simbolul pentru valoarea 3
01010	4	simbolul pentru valoarea 4
01011	5	simbolul pentru valoarea 5
01110	6	simbolul pentru valoarea 6
01111	7	simbolul pentru valoarea 7
10010	8	simbolul pentru valoarea 8
10011	9	simbolul pentru valoarea 9
10110	A	simbolul pentru valoarea A
10111	B	simbolul pentru valoarea B
11010	C	simbolul pentru valoarea C
11011	D	simbolul pentru valoarea D
11100	E	simbolul pentru valoarea E
11101	F	simbolul pentru valoarea F
01101	T	simbolul pentru terminare
00111	R	zero logic (reset)
11001	S	unu logic (set)

Restul combinațiilor sunt invalide.

Tabelul 5.1 Simbolurile MAC FDDI

Substratul fizic dependent de mediu PMD

Pentru substratul fizic dependent de mediu PMD, cu rol în descrierea caracteristicilor mecanice și electrice ale elementelor de conectare la mediu, descrierea nivelelor semnalelor de interfață, și în general a tuturor problemelor ce apar la directa interconectare cu mediul, există mai multe standarde, cu modificări în timp, în funcție de modificările apărute în posibilitatea de utilizare a diferitelor medii optice sau electrice.

Primul standard aplicat, și cel mai răspândit și astăzi, este **ANSI X3.166**, republicat de ISO sub forma **ISO/IEC 9314-6**. Standardul se bazează pe utilizarea fibrei optice multimodale cu dimensiuni 62.5/125 și a elementelor optice de tip LED, ce lucrează pentru lungime de undă de 1300nm. Distanța maxim admisă între două stații FDDI este de 2Km, dar nu trebuie să se depășească o atenuare globală de 11dB.

Conectorii folosiți (numiți de standard **MIC** - *Medium Interface Connector*) sunt cei mai răspândiți conectori pentru fibra optică, și anume conectorii duplex ST, având cheie de inserție configurabilă (figura 5.7). Aceasta permite folosirea lor pentru inserarea la oricare port al unei stații.

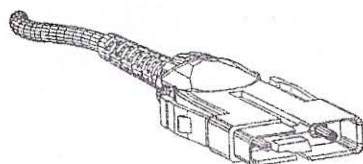


Figura 5.7 Conector ST

O stație FDDI poate poseda următoarele tipuri de porturi, fiecare având o configurație fizică diferită pentru conector:

- port tip A, pentru cuplarea unei stații DAS ca intrare pentru inelul principal și ieșire pentru cel secundar (*primary in/secondary out*);
- port de tip B, pentru cuplarea unei stații DAS ca *primary out/secondary in*;
- port de tip M, pentru cuplare concentrator DAC;
- port de tip S pentru cuplare stație SAS.

Pentru utilizarea cablurilor torsadate s-a elaborat standardul **ANSI TP-PMD**, care dă regulile de conectare ale stațiilor SAS la concentratorul dual, folosindu-se cabluri STP sau UTP. Conectarea stațiilor SAS la concentrator este singurul loc într-o rețea FDDI unde se pot utiliza cablurile cu perechi de fire răsucite. Distanța maximă prevăzută între concentrator și stații este de 100m, deci se respectă regulile de cablare EIA/TIA 568. Conectorii folosiți sunt: conector hermafrodit pentru cablu STP și conectori RJ45 pentru cablul UTP de categoria 5.

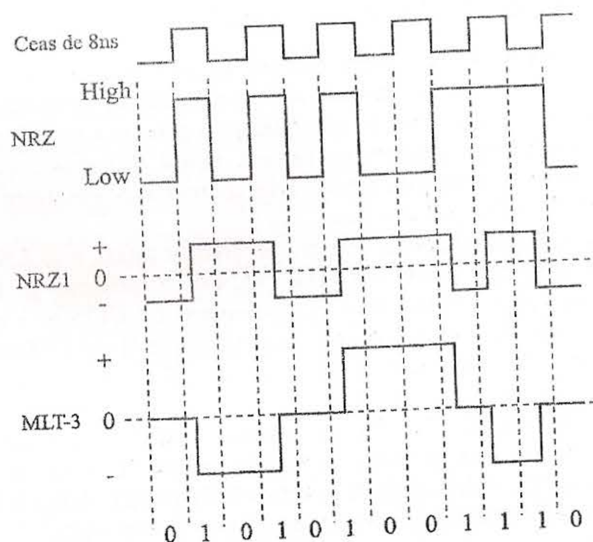


Figura 5.8 Codarea folosită de FDDI

Standardul prevede pentru codificarea datelor un etaj de codificare suplimentar, pentru că în mediul de transmisie fluxul de biți este codificat utilizând codul cu tranziții multinivel MLT-3 (*Multi-Level Transition*, un cod ce permite scăderea influenței atenuării asupra fluxului de biți) - codul este ilustrat de figura 5.8; astfel la transmisia datelor, are loc codificarea datelor primite de la substratul PHY, din cod NRZI, în cod NRZ și apoi în MLT-3, lanțul la recepția din mediu a fluxului de biți și transmiterea sa la nivelul PHY fiind invers, din cod MLT-3 în NRZ și apoi NRZI (codificarea NRZI-NRZ poate fi făcută și la nivelul PHY).

Configurarea unei rețele FDDI poate fi făcută în mai multe moduri:

- configurare sub formă de inel, dacă se utilizează doar stații DAS;
- configurare stelară sau arborescentă, dacă se folosesc concentratoare DAC ca noduri și stații SAS, conectate stelar către concentratoare;
- realizarea unui trunchi principal (*backbone*) în formă inelară, la care se cuplează stațiile DAS și concentratoarele, și realizarea unui cablaj stelar de la fiecare concentrator către stațiile SAS; această topologie este cea mai folosită (este ilustrată de figura 5.2).

Standardul **FDDI**, foarte elaborat și complex, nu a rezolvat totuși toate problemele legate de transmisia la viteze de sute de Mbps și nu s-a impus categoric pe piața HSLAN, datorită costului ridicat al interfețelor. El s-a impus îndeosebi la realizarea rețelelor locale de mare viteză de tip coloană vertebrală (*backbone*), care este o rețea locală de mare viteză (și care suportă o mare încarcare a traficului), ce conectează alte rețele locale de performanțe mai scăzute. Aceasta datorită foartei bune sale comportări pentru încărcări mari ale traficului (comportarea rezultă din folosirea algoritmului de acces la mediu). De altfel, un impact pozitiv pentru realizarea interconectării între rețele de mare viteză și rețele de mică viteză (așa se numesc acum rețelele LAN 'tradiționale'), îl are și formatul cadrului FDDI, care este similar cu cel de la 802.5. În general s-a urmărit realizarea unei treceri cât mai facile de la standardul 802.5 la FDDI, făcându-se modificări numai acolo unde erau necesare pentru a exploata posibilitățile de transmisie ale inelului de fibră optică.

5.2. Dezvoltări ale rețelelor Token Ring

Bazat pe specificațiile 802.5 pentru rețele **Token Ring**, există actualmente cercetări pentru dezvoltarea de rețele de viteză ridicată. Un nou standard, publicat în 1997, ar fi **DTR** (*Dedicated Token Ring*), bazat pe standardul existent Token Ring, dar prevăzând viteza de transmisie de 16Mbps și posibilitatea de 32Mbps în modul de lucru **FDX** (*Full DupleX*). Există de asemenea preocupări pentru obținerea de viteze de 100Mbps. Rețeaua poate fi

denumită şi reţea Token Ring comutată cu operare full duplex (*Switched Full Duplex Token Ring*).

Topologic, o reţea DTR este similară unei reţele 802.5, prevăzând însă un concentrator evoluat. Acesta este elementul cheie al reţelei. Concentratorul DTR este un comutator (*switch*) ce funcţionează ca un bridge multi-port, suportând ambele metode de dirijare (dirijarea de la sursă şi bridge transparent), metode explicate pe larg în capitolul următor. Concentratorul DTR diferă de concentratorul clasic Token Ring, prin faptul că oferă la fiecare port funcţii MAC de recepţie/transmisie cadre. Cum s-a prezentat în capitolul anterior, concentratorul 'clasic' TR nu prezintă la porturile sale funcţionalitate MAC, ci doar funcţii de inserare/decuplare a staţiilor din inel, realizate prin relee bypass.

În reţeaua clasică Token Ring, legătura între portul concentratorului şi o staţie este realizată printr-o cale de date de emisie/recepţie ce operează la 4 sau 16Mbps, deci banda de frecvenţe oferită este utilizată în comun (*shared*) de procesele de emisie şi recepţie. Fiecare nod al reţelei clasice execută protocolul de acces la mediu Token Ring, utilizând în comun calea (în sensul că emisia şi recepţia folosesc în comun banda de frecvenţe alocată).

Într-o reţea DTR, calea de date dintre concentrator şi staţie este realizată fie ca o cale de 16Mbps, precum la reţeua tradiţională, dar conexiunea este dedicată, deci fiecare nod al reţelei are la dispoziţie întreaga lăţime de bandă, fie ca o conexiune dedicată de 32Mbps, când se lucrează full duplex atât la nivel de concentrator, cât şi de staţie.

Deoarece o conexiune DTR între două staţii este o conexiune punct-la-punct cu căi diferite de emisie şi recepţie, nu mai este nevoie de mecanism de acces de tip Token Ring, pentru evitarea conflictului de acces. Grupul de lucru DTR propune un mecanism de acces fără token, bazat pe acces de tip flux, numit **TXI** (*Transmit Immediate*).

Fiind bazată pe reţea Token Ring, constituind o continuare a sa la un alt nivel de performanţă, precum şi din motive economice, reţeaua DTR păstrează compatibilitatea (*backward compatibility*) cu aceasta, în sensul că instalaţiile TR existente pot fi folosite şi în reţea DTR. Astfel adaptoarele TR pot fi conectate la concentratorul DTR şi invers, adaptoarele DTR pot fi folosite la concentratoare TR, cu menţiunea că adaptoarele DTR fac iniţial testarea capabilităţilor portului la care se conectează.

5.3. Reţeaua 100BaseVG şi standardul IEEE 802.12

Reţeaua **100BaseVG** este o reţea ce operează la 100Mbps, în banda de bază, folosind ca medii de comunicaţie cablul torsadat UTP cu 4 perechi de fire, categoria 3 (*Voice Grade*), de categoriile 4 şi 5, dar prevede operarea şi pe cablu

torsadat STP cu două perechi de fire sau pe cablul optic. Tehnologia 100VG-AnyLAN, cum mai este denumită, prevede posibilitatea folosirii regulilor de proiectare (prevede formate de pachete compatibile) şi a topologiilor de tip 10BaseT şi Token Ring, cu implicaţii în facilitarea procesului de ridicare a performanţelor pentru numeroasele reţele existente de acest tip.

O reţea 100BaseVG prezintă o topologie arborescentă; rădăcina arborelui este un concentrator central (*hub*), de la care pleacă legăturile către noduri. Ca şi noduri, pot fi configurate simple staţii, alte concentratoare, sau echipamente de interconectare la reţele de tip Ethernet, Token Ring (echipamente de tip bridge), rutere pentru accesul la reţele WAN, sau elemente de interconectare cu reţele ATM sau FDDI.

Concentratorul central (100BaseVG-AnyLAN *hub*) este un controller inteligent care gestionează reţeaua prin efectuarea unui proces continuu de baleiere a ei, un proces de interogare de tip round-robin. Se determină astfel cererile de transmisie sau de servicii ale elementelor din reţea. Concentratorul preia pachetele de la staţiile sursă şi le dirijează spre staţiile destinaţie într-un mod sigur şi coerent. Hub-ul poate fi configurat pentru a accepta şi procesa atât pachete Ethernet/802.3, cât şi 802.5.

Deoarece concentratorul 100VG-AnyLAN poate fi folosit la diverse nivele ale arborelui topologic, el prevede un port pentru legătura 'în sus', către nivelul superior şi mai multe porturi pentru conexiunile 'în jos'. De asemenea, într-o reţea doar unul din concentratoare va fi programat în mod monitor, devenind rădăcină a arborelui topologic, celelalte vor opera în modul normal, prin care vor dirija pachete de la unul din porturile sale de intrare spre unul (sau mai multe) din porturile sale de ieşire.

Din punct de vedere arhitectural, al ierarhiei de protocoale, reţeaua 100BaseVG prezintă următoarele nivele:

- un nivel pentru accesul la mediu MAC, unde implementează un protocol de acces numit **DP** (*Demand Priority*);
- un subnivel fizic independent de mediu **PMI** (*Physical Medium Independent*);
- un subnivel fizic dependent de mediu **PMD** (*Physical Medium Dependent*).

5.3.1. Nivelul de acces la mediu MAC

Algoritmul de acces la mediu se bazează pe un mecanism de cerere serviciu, cererea având ataşată o prioritate. Protocolul **DP** (*Demand Priority*) se bazează pe faptul că orice nod din reţea, când are de transmis date în reţea, generează o cerere către concentratorul, fie central (100BaseVG-AnyLAN hub), dacă este direct conectat la el, fie unul intermediar, cel la care este conectat. Cererea are ataşată o

prioritate. Prioritatea poate fi una normală, pentru datele uzuale, sau poate fi de valoare ridicată, pentru pachete ce transportă informații ale unor aplicații de timp critic (aplicații de timp real, multimedia). Acordarea priorității se face de către nivelele software superioare și este adusă la cunoștința nivelului MAC prin câmpurile corespunzătoare ale pachetelor. Concentratorul central va deține lista cu cererile de prioritate normală și lista separată a cererilor cu prioritate ridicată.

Protocolul DP se bazează pe următoarele elemente:

- fiecare concentrator din rețea (în primul rând concentratorul rădăcină) execută continuu un proces de interogare de tip round-robin; aceasta permite determinarea nodurilor conectate direct care au cerere de transmisie pachet, precum și a priorității cererii;
- fiecare ciclu de interogare (ciclu de round-robin) permite fiecărui nod care are de transmis, să emită o cerere de transmitere a unui pachet;
- concentratoarele intermediare, dacă au la cel puțin unul din porturile 'în jos' (*down-link*) cerere de transmisie, vor emite o cerere la portul 'în sus' (*up-link*), către nodul superior din topologie;
- un nod cu un singur port (uni-port) va transmite doar un singur pachet la un ciclu de baleiere;
- un concentrator cu *n* porturi 'în jos' va putea transmite cel mult *n* pachete, câte unul de la fiecare port (dacă nu intervine o cerere cu prioritate ridicată);
- cererile de prioritate normală se deservesc în ordinea numerotării porturilor, până la detectarea unei cereri de prioritate ridicată; la terminarea transmiterii pachetului aferent cererii normale, se va deservi cererea cu prioritate ridicată, prin transmiterea tuturor pachetelor aferente cererii de prioritate ridicată, și doar apoi se va reveni la deservirea cererilor cu prioritatea normală;
- dacă durata transmiterii pachetelor aferente cererii de prioritate ridicată depășește un timp prestabilit, pentru ca cererea întreruptă (cu prioritate normală) să nu aștepte un timp prea lung, monitorul îi va ridica nivelul de prioritate, această cerere devenind cerere cu prioritate ridicată.

Pentru o rețea 100BaseVG, faza de inițializare a rețelei, numită LT (*Link Training*), are rol de inițializare a hub-ului, a celorlalte noduri din rețea și de verificare a conexiunilor. În acest sens se schimbă între hub și noduri o serie de pachete cu rol de test, prin care hub-ul rădăcină 'învață' configurația rețelei (tipul nodului: concentrator, bridge, ruter, simplă stație, precum și modul de operare al nodului, adresele stațiilor conectate, etc.). O fază de 'training' similară este inițiată de fiecare nod care este atașat la rețea, sau este demarată la reinițializarea rețelei.

5.3.2. Substratul PMI

Funcțiile substratului fizic independent de mediu **PMI** (*Physical Medium Independent*) se referă la:

- formatarea finală a pachetului pentru transmiterea sa către substratul fizic dependent de mediu PMD, prin adăugarea preambulului, delimitatorilor de început și sfârșit cadru;
- codarea datelor 5B/6B;
- amestecarea datelor pentru transmiterea pe canalele de comunicație (*data scrambling*).

Aceste funcții sunt impuse de mediul fizic folosit cu precădere de acest tip de rețea; este vorba de cablul torsadat cu patru perechi de fire răsucite UTP, de categoriile 3 (numit *voice grade*), 4 și 5. Din această cauză, cele patru perechi de fire răsucite formează patru canale de comunicație, putând spune că viteza globală de transmisie de 100Mbps se realizează prin cele patru canale, fiecare cu viteza de 25Mbps.

Pentru transmiterea pe canal a informației, se străbat următorii pași:

- Cadrul MAC (completat cu toate câmpurile) este împărțit secvențial în grupuri de date de 5 biți (cvinteți), care vor fi distribuiți pe cele patru canale; înainte de a fi transmiși efectiv pe fir, datele sunt supuse și altor transformări.
- Următoarea transformare este amestecarea după un anumit algoritm a biților din fiecare cvintet (*data scrambling*), pentru a se obține configurații aleatoare de biți în cvintet, în acest fel eliminându-se posibile repetiții de configurație. Aceasta asigură reducerea interferenței de radio-frecvență și a interferenței între perechile de fire (*crosstalk*). Un posibil algoritm de amestecare ar fi înmulțirea (la emițător) a polinomului cu coeficienții dați de biții din cvintet, cu un polinom standard, iar la receptor având loc operația inversă, de împărțire a secvenței transportate cu polinomul standard.
- Următoarea transformare asupra datelor este codificarea 5B/6B, prin care fiecare grup de 5 biți este codificat într-un grup de 6 biți, creându-se un echilibru între numărul de biți 1 și biți 0. Prin aceasta se ușurează posibilitatea de sincronizare a stațiilor receptoare cu ceasul master, și de asemenea se pot verifica eventuale erori de coduri invalide. De remarcat că acest proces necesită creșterea bandei de frecvențe a cablului, el trebuind să suporte pentru fiecare pereche de fire o viteză de transport de 30Mbps, pentru a realiza o viteză de transmisie utilă de 25Mbps.

De remarcat că dacă se folosesc alte medii de transmisie, precum cablu STP

cu două perechi de fire sau cablul optic, sunt necesare scheme de multiplexare, implementate în stratul PMD, care convertesc cele patru canale în două (cazul cablului STP) sau un canal (cablul cu fibră optică mono sau multi-modală).

5.3.3. Substratul PMD

Substratul fizic dependent de mediu **PMD** (*Physical Medium Dependent*) asigură funcții referitoare la multiplexarea canalelor (dacă rețeaua este implementată cu cablu STP sau fibră optică), codarea NRZ a datelor pentru transmitere, transmiterea și recepția datelor în mediu și controlul stării legăturii fizice între nod și hub.

Codarea NRZ este eficientă și sigură, codând un bit per perioadă de ceas, dar mai ales asigură posibilitatea utilizării cablurilor UTP-3, cu operarea în *voice grade*. De remarcat că pentru asigurarea unei viteze de transmisie globale de 100Mbps, sau de 25Mbps pe fiecare canal, rata de codare trebuie să fie de 30Mbps per canal, sau de 120Mbps pentru întreaga rețea. O rată de codare de 30Mbps pe fiecare canal, necesită un semnal purtător de frecvență de 15MHz, la o asemenea frecvență, interferența între perechile de fire și emisiile electromagnetice având valori mici.

Operarea în mediu (se înțelege în primul rând cablul UTP categoriile 3, 4, 5) se poate face fie în modul semiduplex **HDX** (*half-duplex*), fie total duplex **FDX** (*full-duplex*). Controlul legăturii însă este obligatoriu să se facă în mod FDX. Pentru aceasta, procedura de control a stării legăturii (*Link-status Control*) folosește o combinație de două tonuri de joasă frecvență, combinație ce codifică starea legăturii între hub și nod. Fiecare ton constă dintr-un semnal de joasă frecvență, ce transmite un anumit șablon de biți (tonul T1 codifică un șablon de 16 biți consecutivi 1, urmați de 16 biți consecutivi 0, iar tonul T2 codifică un șablon de 8 biți consecutivi 1 urmat de 8 biți consecutiv 0). Tabelul 5.2 prezintă definirea combinațiilor posibile:

Combinația de tonuri	Semnificație pentru un nod receptor al tonului	Semnificație pentru un hub receptor al tonului
T1-T1	Inactiv	Inactiv
T1-T2	Sosire pachet de date	Cerere priorit. Normală
T2-T1	Rezervat	Cerere priorit. Ridicată
T2-T2	Cerere inițializare (LT)	Cerere inițializare (LT)

Tabelul 5.2 Definirea combinațiilor de tonuri

Combinația 'Inactiv' indică unui nod că nu sunt pachete de recepționat de la hub, iar unui hub îi indică că nodul nu are cereri de transmisie.

Combinația interpretată ca 'Sosire pachet de date' indică că există date

care sunt destinate acelui port, în consecință stația (nodul) va sista emisia de tonuri pe canalele de recepție și va recepționa datele.

Cererile de transmitere pachet (fie de prioritate normală, fie de prioritate ridicată) sunt emise de noduri și interpretate de hub.

O cerere de inițializare (*Link training*), codificată prin combinația T2-T2, poate fi emisă atât de hub, cât și de nod.

Pentru impunerea noului tip de rețea și asigurarea succesului comercial, multe rețele (mai ales cele produse de Hewlett Packard), pot opera atât ca 100BaseVG, cât și ca o rețea bazată Ethernet, precum 10BaseT.

Cablarea rețelei 100VG se face respectând normele EIA/TIA 568, prevăzând o lungime de cablu torsadat UTP de maxim 100m, de maxim 150m pentru cablul torsadat STP și 2000m pentru o legătură pe fibra optică.

5.4. Rețeaua Ethernet 100BaseX și standardul IEEE 802.13

Oricine utilizează în ziua de azi o rețea **Ethernet** la 10Mbps (sunt peste 40 milioane utilizatori), ar dori creșterea performanțelor sale, datorită noilor aplicații, îndeosebi aplicații multimedia, care solicită o bandă de frecvențe superioară, deci operarea la viteză ridicată. Este normal ca un mare număr de firme constructoare, implicate în producerea de echipament Ethernet tradițional, să caute soluții pentru realizarea unei noi rețele, tot de tip Ethernet, dar de viteză superioară. De asemenea organizațiile de standardizare au creat grupuri speciale de lucru pentru reproiectarea unei rețele Ethernet rapide. Astfel a fost creat grupul de lucru IEEE pentru elaborarea standardului 802.13 (pentru rețea 100BaseX), precum și o asociație **FEA** (*Fast Ethernet Alliance*) pentru promovarea produselor și standardizarea în domeniul rețelei Ethernet rapide. Mai populară decât numele 100BaseX este denumirea **Fast Ethernet**, utilizată cu precădere și în acest subcapitol.

În esență, o rețea Fast Ethernet utilizează aceeași metodă de acces la mediu, aceleași cabluri și conectori precum Ethernet tradițional la 10Mbps, mai precis precum rețelele 10BaseT sau 10BaseF. Cu mici excepții este o rețea Ethernet 'clasică', dar de 10 ori mai rapidă.

Fast Ethernet este definită pentru trei implementări fizice diferite:

- rețea **100BaseTX**

  Utilizează cabluri torsadate UTP de categoria 5, câte două perechi de fire pentru fiecare direcție de transmisie; ea folosește aceleași perechi de fire și configurații de pini, aceeași topologie ca rețeaua 10BaseT. În plus, ea lucrează full duplex la 100Mbps, și pentru a asigura compatibilitatea

la nivelul **Fizic** cu standardul FDDI, utilizează codarea 4B/5B.

- rețea **100BaseFX**
  Utilizează fibra optică multimodală; constituie dezvoltarea rețelei de tip 10BaseFL, folosită pentru legături punct-la-punct, pe o lungime de până la 2Km. Rețeaua 100BaseFX are aceeași utilitate, asigură aceeași distanță de legare între două repetoare, dar la viteză de 100Mbps, în mod full duplex.

- rețea **100BaseT4**
  Pentru posibilitatea utilizării cablurilor torsadate UTP cu patru perechi de fire, categoria 3; este necesar însă ca toate cele patru perechi să fie conectate între nod și hub (la 10BaseT există posibilitatea utilizării a numai două perechi). În această implementare, datele transmise/recepționate de interfață vor fi multiplexate/demultiplexate pe trei perechi de fire ale cablului, a patra fiind folosită pentru controlul coliziunii. Pentru aceasta se utilizează o tehnică specială de codare 8B/6T, folosind semnale ternare. Având la dispoziție trei perechi de fire pentru transmisie și folosind semnale ternare, se pot codifica până la 27 de simboluri, deci pe cele trei fire se pot transmite în cursul unei perioade de ceas câte 4 biți. Cum viteza de semnalizare folosită este de 25MHz (deci cu puțin superioară celei de 20MHz, folosită pentru codarea Manchester utilizată de rețeaua 10BaseT), viteză care este suportată de cablurile UTP categoria 3, per global se va obține o viteză de transmisie de 100Mbps.

Parametrul care s-a modificat esențial pentru o rețea Fast Ethernet față de rețeaua Ethernet tradițională la 10Mbps, este domeniul de coliziune. Aceasta are implicații deosebite asupra topologiei posibile. Pentru o rețea Ethernet tradițională, domeniul de coliziune (definit ca o rețea CSMA/CD în care dacă două stații atașate încearcă simultan transmisie, va exista coliziune), este reprezentat de numărul de biți ce pot circula în mediu într-un sens, și el este de 256 biți. La o viteză de transmisie de 10 ori mai mare, domeniul de coliziune scade; practic, aceasta se traduce prin faptul că dacă într-o rețea Ethernet la 10Mbps puteau exista patru repetoare (cinci segmente), la o rețea Fast Ethernet nu ar mai putea exista decât unul (dacă este repetor FE clasa I), sau cel mult două repetoare între segmentele rețelei (dacă se folosesc repetoare FE clasa II, mai rapide, separate între ele prin maxim 5m de cablu).

Aceasta duce iminent la schimbarea topologiei rețelelor Ethernet de mare viteză, respectiv trebuie prevăzute elemente care segmentează legăturile, pentru a nu exista mai mult de două repetoare cascadate. Deci locul repetoarelor îl iau unitățile

de comutare de pachete (fie hub multi-port, fie bridge sau ruter), unități care nu propagă semnalele de coliziune, deci separă domeniile de coliziune.

Rețelele tradiționale de tip CSMA/CD sau Token Ring sunt de tip 'shared networks', în sensul că stațiile conectate împart banda oferită de mediul de transmisie, iar la un moment dat doar o stație efectuează transmisie (ocupând mediul); de asemenea la un moment dat fiecare stație activă efectuează sau transmisie, sau recepție (operează în modul de lucru semi-duplex HDX). Tendința actuală este pentru realizarea de rețele care utilizează mediul în mod dedicat, fiind bazate pe legături punct-la-punct, cu posibilități de comunicare full duplex FDX. Aceasta se realizează prin utilizarea elementelor de comutare LAN (LAN *switch*), elemente ce prevăd posibilitatea comutării foarte rapide a pachetelor de la un port al său la altul (sunt de fapt echipamente bridge multiport). Astfel astăzi noțiunea Switched Ethernet are acoperire.

O altă modalitate de sporire a vitezei este folosirea acelor medii care permit operarea full-duplex FDX. Pentru rețelele Ethernet cu legături FDX se recomandă utilizarea cablului torsadat UTP cu patru perechi de fire, cablului torsadat STP cu două perechi și a fibrei optice. Cablul coaxial nu poate fi folosit pentru legături FDX, deci nu este prevăzută utilizarea sa pentru rețelele HSLAN.

5.5. Rețele Gigabit Ethernet

Gigabit Ethernet a apărut ca o dezvoltare naturală a tehnologiei Fast Ethernet iar lucrul la acest nou standard a început imediat după publicarea standardului pentru Fast Ethernet IEEE 802.3u în 1996 și a fost încheiat în două etape în 1998 pentru fibre optice și cablu STP, standardul IEEE 802.3z și în anul 1999 pentru cablul UTP, standardul IEEE 802.3ab. Deși scopul inițial al grupului de lucru a fost dezvoltarea unui standard unitar și a tot cuprinzător pentru toate mediile fizice utilizabile, în final standardul a fost divizat pentru a permite publicarea standardului la timp deoarece echipa de lucru pentru varianta UTP a întâmpinat greutăți în implementarea vitezei de transmisie de 1Gbps prin cabluri UTP de categorie 5. Prin această decizie s-au realizat două obiective: un standard viabil publicat la timp și evitarea apariției de soluții proprietare sau a unor standarde de facto care să irosească efortul depus.

5.5.1. Variante de Gigabit Ethernet

Pentru Gigabit Ethernet există următoarele variante:

- 1000BASE-SX pentru fibră optică multimodală;
- 1000BASE-LX pentru fibră optică mono sau multimodală;

- 1000BASE-CX pentru cablu UTP ecranat de 150 ohmi, diferit de cablul STP de la TOKEN-RING;
- 1000BASE-T pentru cablu UTP categorie 5, sunt utilizate bidirecţional toate cele 4 perechi ale cablului UTP.

Această din urmă variantă a pus cele mai mari probleme proiectanţilor standardului întrucât cablul UTP categorie 5 are proprietăţi electrice la limită pentru realizarea unei viteze de transmisie de 1 Gbps pe distanţe de 100m. Utilizarea unor cabluri cu calităţi superiore, categorie 6 sau 7, ar fi permis publicarea standardului Gigabit Ethernet într-un singur document dar ar fi rezultat un standard cu posibilităţi de utilizare efectivă extrem de redusă deoarece 99% din cablajele existente sunt de categorie 5 sau 5 extins. Standardele IEEE 802.3 sunt deosebit de pragmatice şi ele urmăresc nu doar standardizarea unui domeniu ci şi posibilitatea de implementare efectivă şi de realizarea unor produse industriale cu succes comercial.

Varianta 1000BASE-CX reprezintă un compromis low-cost care permite utilizarea unor interfeţe ieftine pe distanţe scurte, maxim 25 de metri.

Varianta 1000BASE-SX utilizează emiţătoare cu lungime de undă de 850 nm şi fibre optice multimodale cu diametrul nucleului de 50 sau 62,5 µm pentru distanţe de 275 respectiv 550m.

Varianta 1000BASE-LX utilizează emiţătoare cu lungime de undă 1330 nm şi fibre optice multimodale cu diametrul nucleului de 50 sau 62,5 µm pentru distanţe de 550m sau fibre optice monomodale cu diametrul nucleului de 9 µm pentru distanţe de 5000m.

Comercial au fost dezvoltate şi variantele 1000BASE-LX/LH (Long Haul) pentru distanţe de până la 10km cu fibre monomod şi 1000BASE-ZX (extra long haul) pentru distanţe de 100km. Acestea din urmă operează cu lungimi de undă de 1550 nm. Ultimele două variante sunt de regulă interoperabile numai în cazul echipării ambelor capete cu echipamente de la acelaşi producător.

5.5.1.1. Asemănări cu variantele Ethernet existente

Formatul cadrului este neschimbat faţă de Ethernet şi Fast Ethernet în consecinţă rămân neschimbate lungimile şi tipurile câmpurilor din cadrul Ethernet. Rămân de asemenea neschimbate posibilitatea de autonegociere a modului de lucru Full Duplex / Half Duplex precum şi autoconfigurarea vitezei la varianta UTP. Lungimea minimă a cadrului rămâne de 64 de octeţi iar cea maximă de 1518 octeţi.

5.5.1.2. Diferenţe faţă de variantele Ethernet existente

Extensia cadrului

Modul de lucru Half Duplex prezintă o particularitate şi anume aceea că este necesară **extensia cadrului** Ethernet de lungime minimă pentru funcţionarea corectă metodei CSMA/CD de acces la mediu. Datorită vitezei foarte mari de transmisie este nevoie să se transmită cel puţin 4096 de biţi (512 octeţi) pentru acoperirea timpului de slot sau de propagare, acest lucru se face prin extensia purtătoarei pentru o transmisie de minim 512 octeţi.

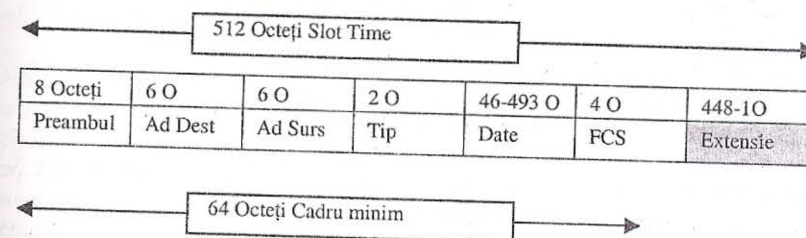


Figura 5.9 Desenul logic al cablării

Modificarea dimensiunii cadrului minim de 64 octeţi ar fi dus la incompatibilitatea cu sistemele existente şi a fost evitată prin extensia purtătoarei sau transmiterea de simboluri nondate pe durata a 448 la 1 octet.

De notat că această extensie este necesară doar la modul de operare Half Duplex.

Modul de lucru rafală

Pentru creşterea eficienţei utilizării mediului de comunicaţie, care în cazul cel mai defavorabil ar fi de cca. 12%, s-a introdus modul de lucru în rafală. Acest mod de lucru permite unei staţii să trimită mai multe cadre de date succesiv după acapararea mediului pentru minim un Slot Time. Acapararea mediului este garantată dacă pe timpul unui Slot Time nu s-a înregistrat nici o coliziune. În acest mod de lucru după transmisia unui prim cadru normal sau cu extensie a purtătoarei staţia emiţătoare mai poate emite succesiv cadre despărţite printr-un interval de 96 de biţi(Inter Frame Gap IFG) până la 8192 de octeţi. Această este limita de început a ultimului cadru transmis. Primul cadru trebuie să ocupe în întregime un Slot Time.

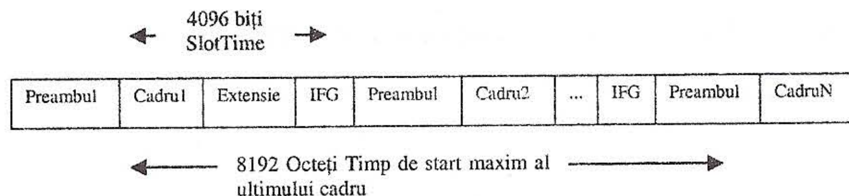


Figura 5.10 Desenul logic al cablării

De remarcat că și această ultimă modificare este specifică modului de lucru Half Duplex. În modul de lucru Full Duplex accesul la mediu fiind garantat orice stație poate emite oricând un cadru de lungime minimă de 64 de octeți neexistând competiție pentru accesul la mediu.

Constrângerile de mai sus limitează topologia unei rețele Gigabit Ethernet la două link-uri unite printr-un singur repetor în mod Half Duplex. Practica a demonstrat ulterior că din motive economice pe piață au apărut doar dispozitive de tip comutator (switch) și interfețe care lucrează exclusiv în mod Full Duplex pe legături dedicate punct-la-punct. Diferența de cost între un repetor și un comutator Gigabit Ethernet este relativ mică comutatoarele având un raport cost/performanță mult superior. Costul preponderent al unui dispozitiv Gigabit Ethernet este dat în principal de costul interfețelor fizice, costuri care predomină față de restul dispozitivului din acest motiv au fost preferate comutatoarele față de repetoare.

Controlul Fluxului

În variantele anterioare controlul fluxului nu este implementat. La Gigabit Ethernet acesta devine necesar deoarece un dispozitiv de tip comutator poate fi ușor copleșit de un număr mare de cadre transmise la viteze mari. Se pune problema în principal de epuizare a memoriei tampon pentru păstrarea intermediară a cadrelor. În variantele de lucru Half Duplex problema se rezolvă ușor prin ocuparea mediului sau generarea voită de coliziuni de către dispozitivul gâtuit însă pentru modul de lucru Full Duplex este necesar un mecanism explicit de semnalizare și control al fluxului.

Controlul fluxului este realizat cu ajutorul Cadrelor de Control și a funcției PAUSE. Cadrele de control sunt cadre Ethernet obișnuite având câmpul tip = 0x8808 și care conțin în câmpul de date codul operației de control precum și parametrii acesteia.

Mecanismul de control al fluxului este unul extrem de simplu de tip stop-start și asigură controlul fluxului pe o singură legătură pe o singură direcție și este specifică doar legăturilor de tip Full Duplex. Oprirea emițătorului se face prin transmiterea acestuia a unui cadru PAUSE având ca parametru o valoare fără semn reprezentată pe 16 biți reprezentând numărul de perioade de 512 biți pentru care receptorul acestui cadru PAUSE să înceteze transmisia. Repornirea transmisiei se face automat la expirarea timpului sau la primirea unui cadru

PAUSE cu parametru de timp 0.

Configurarea controlului fluxului se poate face automat sau manual pentru toate variantele de Ethernet fiind automată și obligatorie pentru toate tipurile de Gigabit Ethernet.

De menționat este și faptul că adresa destinație a cadrelor PAUSE este o adresă de tip multicast rezervată acestui scop și anume (01-80-C2-00-00-01). Acest mod de operare a permite extinderea ulterioară funcției de control al fluxului și pentru modul de lucru Half Duplex.

Pentru calculul dimensiunii tampoanelor și a momentului emiterii unui cadru PAUSE trebuie ținut cont de faptul că pe fluxul de intrare se pot recepționa aproximativ 100.000 de biți până la reacția transmițătorului la comanda de PAUSE. Acest număr de biți este dependent de viteza de transmisie și de lungimea mediului cazul prezentat este în situația cea mai defavorabilă.

5.5.1.3. Arhitectura unei interfețe Gigabit Ethernet

O interfață Gigabit Ethernet este compusă din:

- Gigabit Ethernet Controler.
- Codor/Decodor.
- Emițător/Receptor.

Controlerul Gigabit Ethernet are funcții comune familiei Ethernet ca implementarea modului de lucru Half sau Full Duplex, detectarea coliziunilor, calcul sumei de control, verificarea acesteia la recepție, accesul la mediu, etc.

Codorul/Decodorul conține printre altele un serializator/deserializator care permite restrângerea ariei de funcționare cu o frecvență de ceas de 1GHz sau mai mare și codorul 8B/10B utilizat pentru generarea semnalului efectiv transmis în mediu.

Emițător/Receptor sunt specifice mediului fizic utilizat.

În cadrul interfețelor Gigabit Ethernet există un punct de referință numit GMII, Gigabit Medium Independent Interface, care permite adaptarea funcțională a celor 4 tipuri de mediu definite în standard. Acest punct de referință nu este o interfață fizică pentru a putea cupla un alt dispozitiv ci o delimitare logică a funcțiilor. Chiar dacă această interfață există într-un dispozitiv ea de regulă se materializează ca o legătură între circuitele integrate componente. Expunerea fizică a interfeței GMII este anevoioasă din cauza frecvenței mari a semnalelor.

Interfața GMII este definită a lucra în paralel cu 8 biți la o frecvență de 125MHz în codificare NRZ.

La nivel fizic semnalul este codificat pentru variantele 1000BASE-CX,SX,LX în format NRZ cu nivel superior de tensiune respectiv intensitate

luminoasă pentru 1 şi nivel inferior de tensiune respectiv intensitate luminoasă pentru 0. Frecvenţa fundamentală maximă emisă în mediu este de 625MHz.

Pentru 1000BASE-T la nivel fizic se utilizează o codificare 4D-PAM5. Se folosesc 4 perechi de fire simultan atât pentru recepţie cât şi pentru emisie iar pe fiecare din aceste perechi se utilizează 5 nivele diferite de tensiune. Semnalul este transmis la 125Mbaud care se încadrează în limitele cablului UTP categorie5. Pentru uşurarea procesării semnalului semnalul pe cele 4 fire este emis sincron iar receptorul şi emiţătorul se sincronizează între ele.

5.5.1.4. Gigabit Ethernet

Ultima dezvoltare a tehnologiei Ethernet este varianta 10Gigabit Ethernet. Eforturile de standardizare au început în anul 1999 şi s-au finalizat în anul 2002 respectiv 2004 sub forma a două standarde IEEE802.3ae pentru 10Gigabit Ethernet cu mediu de transmisie fibră optică şi standardul IEEE802.3ak pentru mediu de transmisie cupru.

5.5.1.5. Variante 10Gigabit Ethernet

Spre deosebire de versiunile anterioare 10Gigabit Ethernet este specificat doar în modul de lucru Full Duplex şi au fost dezvoltate două variante. Una pentru operare în LAN la viteze de 10Gbps şi una pentru operare WAN la viteze 9.584640 Gbps compatibilă cu OC-192c/SDH VC-4-64c pentru transportul prin ierarhiile digitale optice de tip SONET.

Pentru fibră optică au fost standardizate următoarele variante:

- 10GBASE-SR – până la 300m prin fibră optică multimodală lungime de undă 850nm.
- 10GBASE-SW – până la 300m prin SONET fibră optică multimodală lungime de undă 850nm.
- 10GBASE-LR – 2m-10km prin fibră optică monomodală lungime de undă 1310nm.
- 10GBASE-LW – 2m-10km prin SONET fibră optică monomodală lungime de undă 1310nm.
- 10BASE-ER – 2m – 40km prin fibră optică monomodală lungime de undă 1550nm.
- 10BASE-EW – 2m – 40km prin SONET fibră optică monomodală lungime de undă 1550nm.
- 10GBASE-LX4 – 4 lungimi de undă paralele prin fibră optică mono sau multimodală lungime de undă 1310nm.

Pentru cabluri electrice a fost adoptată varianta:

- 10GBASE-CX4 pentru distanţe de până la 15m prin 4 cabluri ecranate fiecare a câte 2 perechi torsadate.

Asemănări cu variantele Ethernet existente

S-a păstrat dimensiunea cadrului, dimensiunea câmpurilor componente precum şi dimensiunea minimă respectiv maximă a unui cadru, 64 respectiv 1518 octeţi.

Deosebiri faţă de variantele Ethernet existente

Nu există decât modul de lucru Full Duplex şi nici există modul de lucru în rafală. De asemenea s-a eliminat posibilitatea autonegocierii vitezei şi a modului duplex atât la variantele pentru fibră optică cât şi la varianta pentru cablu electric.

Structura unei interfeţe 10Gigabit Ethernet

Structura unei interfeţe 10Gigabit Ethernet este prezentată în figura următoare:

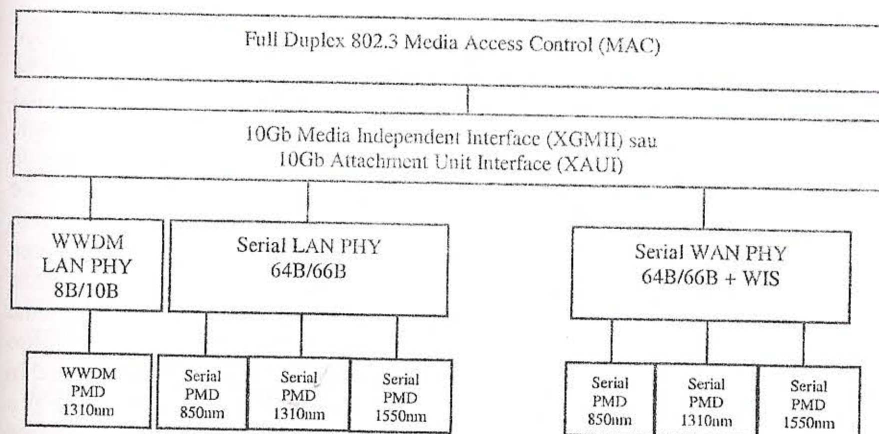


Figura 5.11 Desenul logic al cablării

unde

- WWDW = Wide Wavelength Division Multiplexing; multiplexare cu lungimi de undă distanţate;
- WIS = WAN Interface Sublayer; subnivel interfaţare WAN;
- PMD = Physical Media Dependet Module; modul dependent de mediul fizic;
- 8B/10B = codificator 8B/10B;
- 64B/66B = codificator 64B/66B.

5.6. Reţele locale fără fir - WLAN

Acest capitol este dedicat unui tip de reţea locală care a cunoscut o dezvoltare considerabilă în ultima perioadă şi care promite noi realizări în viitorul apropiat, reţele locale fără fir (Wireless Local Area Networks sau WLAN). Pentru a risipi de la început orice confuzie acest capitol este dedicat reţelelor locale de calculatoare fără fir care sunt standardizate în familia de protocoale IEEE 802.11 şi nu va aborda teme legate de CDMA, UMTS sau GSM care sunt alte tipuri de reţele fără fir şi care pot conecta în unele circumstanţe calculatoare şi funcţiona ca reţele de date. Aceste reţele mai sunt cunoscute şi sub numele de reţele mobile de comunicaţii.

În reţelele locale fără fir sunt definite prin standarde două medii diferite de comunicaţie: lumină în spectrul infraroşu, 900nm şi unde radio în diferite benzi de frecvenţă din domeniul GHz.

5.6.1. Infraroşu

Varianta de infraroşu deşi standardizată nu se regăseşte în produse comerciale larg utilizate din cauza principalului inconvenient care este limitarea razei de acoperire la o singură încăpere. Variante simplificate ca IrDA (Infrared Data Association) cu rate de transfer de până la 4Mbps nu pot fi considerate reţele locale ele asigurând doar interconectarea a două dispozitive. Particularitatea de propagare a luminii în linie dreaptă presupune ca dispozitivele participante să fie vizibile între ele fără nici un fel de obstacol. Propagarea prin reflexii, din pereţi, pune noi probleme datorită fenomenului de interferenţă între unda directă şi cea reflectată. Deşi puţin utilizată în prezent varianta infraroşu ar putea să se dezvolte în viitor datorită unei proprietăţi care împiedică utilizarea ei pe moment şi anume aceea de a nu părăsi un spaţiu limitat de pereţi. Această limitare în propagare contribuie semnificativ la creşterea securităţii reţelei calitate dificil de obţinut în cazul utilizării undelor radio. Pe măsura rezolvării problemei de interferenţă şi a scăderii costurilor în viitor această calitate de confinare într-un spaţiu închis va face din varianta infraroşu o opţiune viabilă în reţele fără fir.

5.6.2. Unde Radio

Benzile de frecvenţe utilizate în reţelele fără fir sunt de 2,4GHz, 3,5GHz şi 5GHz. Sunt posibile rate de transfer de până la 100Mbps funcţie de echipament şi standardul de funcţionare. Rata de transfer este însă dependentă de distanţa dintre receptor şi emiţător şi scade odată cu distanţa. Distanţe mai mari de ordinul kilometrilor pot fi străbătute cu ajutorul unor antene speciale de

câştig ridicat. Pe măsura evoluţiei tehnologiei în viitor ne putem aştepta la creşterea ratei de transfer până la ordinul sutelor de Mbps.

Un avantaj al versiunii radio este acela că ariile de acoperire sunt de raze de ordinul zecilor sau sutelor de metri şi pot fi penetraţi chiar şi pereţi de diferite grosimi, e drept cu scăderea ratei de transfer. Acest avantaj se poate însă uşor transforma într-un dezavantaj datorită scăderii securităţii în reţea dacă nu se iau măsuri de securitate complementare.

Benzi de frecvenţă

Benzile de frecvenţă radio sunt considerate resurse naturale şi exploatarea lor este legată de o licenţă de utilizare. Prin derogare benzile de 2,4GHz şi 5GHz sunt exceptate de la această regulă şi pot fi utilizate de oricine fără licenţă. Utilizarea benzii de 3,5GHz este condiţionată de posesia unei licenţe de emisie radio.

În implementarea unei reţele fără fir alegerea benzii de frecvenţă utilizate trebuie făcută ţinând cont de următoarele considerente: bandă fără licenţă implementare rapidă fără costuri de licenţiere dar aceeaşi bandă poate fi utilizată şi de alţii ceea ce duce la interferenţe şi scăderea ratei de transfer; bandă cu licenţă proces birocratic de licenţiere cu costuri suplimentare iniţiale şi recurente dar se asigură o exclusivitate de utilizare care va menţine în timp rata de transfer.

5.6.3. Reţele de tip Ad-Hoc sau de tip Infrastructură

Reţele fără fir pot opera în două moduri: Ad-Hoc sau Infrastructură. Modul de lucru Ad-Hoc este un mod simplu chiar simplist şi este utilizat atunci când se doreşte conectarea temporară a două sau mai multe dispozitive într-o reţea simplă. În acest mod de operare nu există dispozitive dedicate cu funcţii de management ci fiecare nod trebuie să înglobeze aceste funcţii. Acest mod de lucru permite însă comunicarea doar între dispozitive care sunt în conexiune fizică directă, receptorul este în raza de acţiune a emiţătorului. Dispozitive care nu sunt direct conectate pot comunica doar dacă sunt prevăzute noduri cu funcţii speciale de releu între noduri fără conexiune directă.

În reţele de tip Infrastructură există două tipuri de dispozitive: Puncte de Acces (Access Point AP) şi clienţii. Arhitectura clienţilor este mult simplificată funcţiile de management fiind preluate în totalitate de punctele de acces. Punctele de acces asigură şi accesul la reţeaua cablată. Reţelele definite prin standardul IEEE 802.11 sunt reţele de tip infrastructură dar permit şi modul de lucru Ad-Hoc cu limitarea că nu se permite existenţa releelor.

5.6.4. Arhitectura unui WLAN IEEE802.11

Componentele unul WLAN sunt stațiile și puncte de acces. Mulțimea de noduri și puncte de acces care operează în aceeași acoperire radio formează un set de servicii de bază (BSS). O mulțime de BSS-uri interconectate printr-un sistem de distribuție, de regulă un LAN clasic, formează un set de servicii extins (ESS). Fiecare set extins de servicii are un identificator propriu ESSId care este numele rețelei. Fără a cunoaşte acest nume sau identificator nici o stație nu se poate conecta în rețeaua fără fir. Legătura unei stații se stabileşte la punctul de acces cel mai apropiat sau care este cel mai bine recepționat. Se poate asigura trecerea dintr-un BSS în altul prin funcții speciale de roaming. Punctele de acces asigură și legătura cu rețeaua cablată.

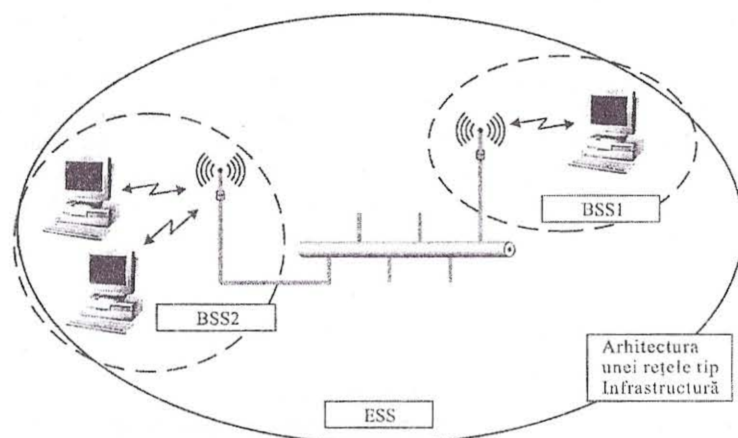


Figura 5.12 Arhitectura protocolului IEEE 802.11

Nivelele Legătură de date și Fizic sunt subdivizate în mai multe subnivele astfel:

Aplicație		Management stație sau Punct de Acces
TCP		
IP		
LLC		
MAC 802.11	Management MAC	
PLCP	Management fizic	
PMD		

Subnivelul LLC este comun cu cel al rețelelor 802.x.

Subnivelul MAC 802.11 care gestionează accesul la mediul de comunicație și criptarea.

Subnivelul PLCP de convergență a nivelului fizic (Physical Layer Convergence Protocoll) furnizează detectarea purtătoarei numit CCA (Clear Channel Assesment) și asigură un punct de acces la serviciul nivelului fizic independent de tehnologia de transmisie.

Subnivelul PMD nivelul fizic dependent de mediu (Physical Medium Dependent) responsabil pentru modularea codarea /decodarea semnalului. Subnivelul PMD este diferit în funcție de varianta de protocol IEEE 802.11a, 802.11b sau 802.11g.

Nivelul de management MAC este responsabil cu asocierea între o stație și un punct de acces, cu roamingul și autentificarea.

Managementul fizic include acordul de radio frecvență.

Managementul de stație sau punct de acces controlează funcții de nivel superior precum comutarea pachetelor sau interacțiunea cu sistemul de distribuție sau cu rețeaua cablată.

5.6.5. Nivelul Fizic

Standardul IEEE802.11 inițial prevedea trei nivele fizice: infra roșu, FHSS și DSSS în banda radio de 2,4GHz. Standardul actual prevede și benzile de 3,5 și 5 GHz.

Nivelul fizic FHSS (Freqvency Hopping Spread Spectrum)

La acest nivel fizic emițătorul emite prin salturi pe 79 de frecvențe. Un canal de emisie este definit printr-o secvență de salturi pseudoaleatoare predefinită. Mai multe rețele pot coexista prin utilizarea de canale, respectiv, secvențe diferite.

Structura unui cadru este prezentată în figura următoare:

Sincronizare 80 biți	Start Cadru 16 biți	Lungime cadru în octeți 12 biți	Rată de date 4 biți	Sumă CTRL Antet 16 biți	Date Max 4091 octeți	CRC 32 biți
0505...05H	0CBDH	xxxxxxxxxxxx	yyyy			

Figura 5.13 Structura cadrului 802.11 FHSS

Rata de date 0000= 1 Mbps în incremente de 500kbps

Nivelul fizic DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

DSSS este o metodă în care separarea între canale se realizează în cod și nu în frecvență prin utilizarea unei secvențe 11-chip Barker. Această metodă este insensibilă la interferențe și căi de propagare multiple. Pentru diferitele viteze se folosesc diferite metode de modulare ca DBPSK sau DQPSK. Toți

biții sunt transmiși amestecat prin polinomul Z^7+Z^4+1 pentru blocarea componentei continue și uniformizarea, albirea, spectrului de emisie.

Formatul cadrului este prezentat în figura de mai jos:

Sincronizare 128 de biți	SFD 16 biți	Semnal 8 biți	Service 8 biți	Lungime 16 biți în microsecunde	Suma CTRL antet 16 biți	Date Lungime variabilă
1111...1111	F3A0H	0AH sau 14H	00			
Preambul PLCP		Antet PLCP				
Rată semnal 1 Mbps						1 sau 2 Mbps

Figura 5.14 Structura cadrului 802.11 DSSS

Variantele mai noi, respectiv IEEE 802.11b și IEEE 802.11g utilizează un cadru ușor modificat. Partea de sincronizare conține doar biți de 0 și este mai scurtă, 56 de biți, iar SFD are valoarea de 05CFH. Astfel echipamentele mai vechi nu vor recunoaște cadrele dar vor sesiza mediul ocupat. Varianta IEEE 802.11a lucrează în banda de 5GHz și are alt format al cadrului.

Format cadru IEEE 802.11b forma lungă

Sincronizare 128 de biți	SFD 16 biți	Semnal 8 biți	Service 8 biți	Lungime 16 biți în microsecunde	Suma CTRL antet 16 biți	Date Lungime variabilă
0000....0000	F3A0H		00			
Preambul PLCP		Antet PLCP				
Rată semnal 1 Mbps						1, 2, 5..5 sau 11 Mbps

Figura 5.15 Format cadru IEEE 802.11b forma lungă

Format cadru IEEE 802.11b forma scurtă

Sincronizare 56 de biți	SFD 16 biți	Semnal 8 biți	Service 8 biți	Lungime 16 biți în microsecunde	Suma CTRL antet 16 biți	Date Lungime variabilă
0000....0000	05CFH		00			
Preambul PLCP		Antet PLCP				
Rată semnal 1 Mbps		Rată semnal 2 Mbps				2, 5..5 sau 11 Mbps

Figura 5.16 Format cadru IEEE 802.11b forma scurtă

Format cadru IEEE 802.11a

Sincronizare	Rată 4 biți	rezervat 1 bit	Lungime 12 biți	Paritate 1 bit	Tail 6 biți	Service 16 biți	Date Lungime variabilă	Tail 6 biți	Pad
12 simboluri	1 simbol								
Preambul PLCP	Antet PLCP					Număr întreg de simboluri			
	Rată semnal 6 Mbps					6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, sau 54 Mbps			

Figura 5.17 Format cadru IEEE 802.11a

Nivel Control Acces la Mediu (MAC Layer)

Nivel de Acces la Mediu (MAC) are următoarele funcții: controlul accesului la mediu care poate fi distribuit în rețele ad-hoc sau centralizat în cele de tip infrastructură, roaming, autentificare și conservarea energiei. Cel din urmă este foarte important pentru dispozitivele operate cu baterii.

Sunt definite 3 metode de acces la mediu: CSMA/CA, o metodă opțională de evitare a terminalului ascuns și una fără competiție bazată pe polling. Primele două sunt de tip control distribuit iar ultima de tip control centralizat. Toate metodele sunt cu confirmare explicită.

CSMA/CA se bazează pe metoda CSMA p-persistent cu evitarea coliziunilor (Collision Avoidance) printr-un mecanism de amânare aleatoare a transmisiei în cazul de mediu liber. Amânarea transmisiei se face cu un număr aleatoriu întreg de sloturi de timp. Plaja de valori a variabilei aleatoare se mărește la fiecare coliziune.

Accesul la mediu este prioritizat printr-o întârziere suplimentară introdusă între momentul devenirii libere a mediului și momentul de declanșare a competiției pentru acces la mediu. Sunt definite trei priorități:

- Maximă pentru cadre scurte de control sau de achitare (SIFS).
- Medie pentru acces cu control centralizat pentru controler (PIFS).
- Mică pentru acces cu control distribuit (DIFS).

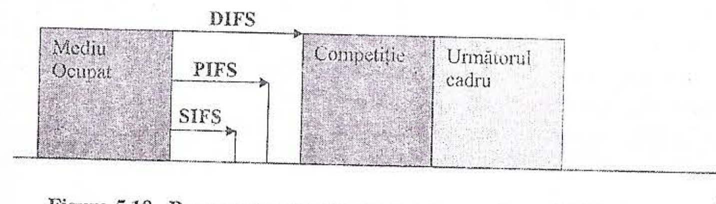


Figura 5.18 Reprezentarea algoritmului de acces la mediul CSMA/CA

Metoda de acces la mediu cu control distribuit

Această metodă se bazează pe algoritm CSMA/CA şi are în plus un mecanism de uniformizare a şanselor de transmisie. Accesul la mediu se face pe baza unor cicluri de acces. Un ciclu de acces începe în momentul în care mediul de comunicaţie este liber pentru cel puţin perioada DIFS. În perioada de competiţie orice staţie care are date de transmis are şansa de a transmite.

La trafic redus o staţie poate transmite imediat. La creşterea traficului intervine un mecanism de evitarea coliziunilor prin amânarea transmisiei cu un interval de timp aleator. Această valoare aleatoare este aleasă la primirea cadrului de la nivelul superior şi este decrementată la începutul ciclului de acces. Staţia a cărei timp de aşteptare ajunge la 0 poate transmite dacă mediul e liber. Decrementarea se face doar pe durata pe care mediul este liber. În cazul în care mediul devine ocupat pe perioada de competiţie decrementarea se suspendă şi staţia aşteaptă un nou ciclu de acces. În cazul unei coliziuni timpul de aşteptare este reluat printr-o nouă alegere aleatoare de data aceasta dintr-o plajă mai mare. Prin acest mecanism staţiile care au intrat în procesul de aşteptare mai de mult au o şansă mai mare timpul de aşteptare fiind micşorat în fiecare ciclu de acces. Cu toate acestea nu se poate garanta un timp maxim de aşteptare deoarece coliziunile sunt evitate dar nu eliminate complet.

Metoda de acces la mediu cu control distribuit cu extensie RTS/CTS

Pentru prevenirea problemei de terminal ascuns, o staţie poate recepta alte două dar acestea nu se pot recepţiona între ele, prin mecanismul RTS/CTS o staţie poate cere rezervarea mediului pentru o anumită perioadă. Astfel la acapararea mediului în perioada de competiţie staţia va emite un cadru de control RTS în loc să trimită datele. Acest fragment este recepţionat de un set de staţii care vor memora rezervarea şi nu vor intra în competiţie pentru mediu pe durata rezervării. Staţia destinaţie va primi cadrul RTS şi va răspunde fără a intra în competiţie cu un mesaj CTS care este recepţionat de un set posibil diferit de staţii care vor sesiza rezervarea şi vor nu vor intra în competiţie. Prin acest mecanism se asigură faptul că toate staţiile din raza de acţiune atât a emiţătorului cât şi a receptorului nu vor genera coliziuni.

În cazul unui mediu de transmisie cu rată mare de erori un mesaj poate fi fragmentat şi trimis pe bucăţi astfel ca fragmentele mici să treacă fără erori. Această fragmentare este transparentă pentru nivelele superioare şi utilizează acelaşi mecanism de rezervare.

Schimbul de mesaje este prezentat în figura următoare:

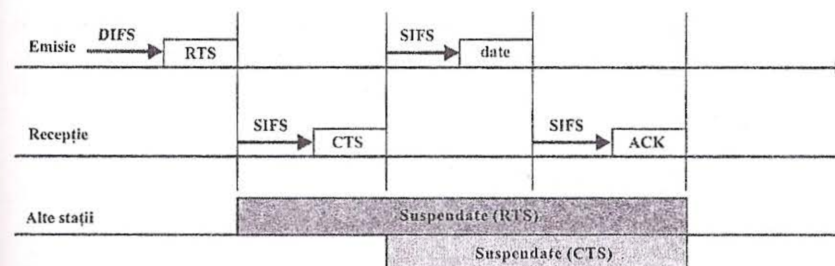


Figura 5.19 Reprezentarea algoritmului de acces la mediul RTS/CTS

Metoda de acces la mediu prin polling

Această metodă de acces presupune existenţa unui punct de acces cu funcţie de coordonare în reţea şi prin urmare el există doar la reţelele de tip infrastructură. Punctul de acces va trimite pe rând fiecărei staţii un pachet de interogare care poate conţine şi date. Moment în care fiecare staţie pe poate răspunde cu datele proprii de transmis dacă acestea există. Accesul la mediu este organizat în super cadre. Un super cadru este compus dintr-o parte de acces fără competiţie şi o perioadă cu competiţie. Prin această organizare se poate garanta un timp de acces maxim pentru fiecare staţie participantă şi asigura QoS pentru fiecare staţie. Pe durata perioadei fără competiţie staţiile nu vor avea nici o dată iniţiativa de a transmite ci doar vor răspunde unei interogări primite de la punctul de coordonare. Începutul şi sfârşitul perioadei fără competiţie este menţinută de punctul de coordonare şi anunţat iniţial tuturor staţiilor. În cazul în care etapa fără competiţie epuizează datele punctul de coordonare poate semnala sfârşitul prematur al acestei etape printr-un pachet de control şi staţiile trec în modul competitiv. La epuizarea timpului alocat acestui mod începe un nou super cadru şi se revine în modul polling. Diagrama schimbului de mesaje în metoda de acces prin polling este prezentată în figura următoare:

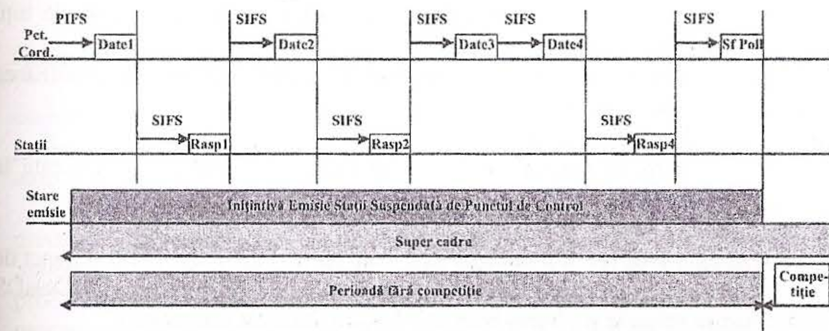


Figura 5.20 Reprezentarea algoritmului de acces polling

Pe perioada fără competiţie tot schimbul d mesaje se desfăşoară cu prioritate mare sau medie în aşa fel încât staţii care au pornit mai târziu să nu poată interveni. Etapele de competiţie sunt necesare ca noi staţii să poată fi asociate la punctul de coordonare.

Formatul cadrelor la nivel MAC

La nivel MAC structura unui cadru este următoarea:

Octeţi	2	2	6	6	6	2	6	0-2312	4
Nume	Control	Durată /ID	Add1	Add2	Add3	Secvenţă	Add4	Date	CRC

Câmpul de control este organizat pe biţi astfel:

Biţi	2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1
Nume	Versiune	Tip	Subtip	La DS	De la DS	+ Fragmente	Retry	Mngt Putere	+ Date	WEP	Ordine

Versiune: 0 va fi modificat la versiuni ulterioare incompatibile cu cea actuală.
Tip: 00 Management, 01 Control, 10 Date, 11 rezervat.
Subtip: diferite semnificaţii funcţie de tip, detalii în standardul IEEE802.11-1999.
La/DelaDS: vezi tabel mai jos.
+Fragmente: 1 dacă mai sunt fragmente de transmis.
Retry: 1 dacă este retransmisie a unui cadru anterior.
Mngt Putere: 1 dacă staţia va trece în mod de economie după transmiterea cadrului.
+Date: 1 Staţia mai are date de transmis care nu au încăput în cadrul curent.
WEP: 1 dacă se aplică mecanismul de securitate standard.
Ordine: 1 pentru procesarea în ordine strictă a cadrelor.
Durată/ID: durată în µs pentru rezervarea mediului sau ID în cadre de control.
Add1-4: adrese de 48 biţi în format IEEE802, semnificaţia depinde de biţii La/DelaDS.
Secvenţă: număr unic de secvenţă utilizat pentru achitare şi eliminarea duplicatelor.
Date: datele transferate.
CRC: sumă de control pentru cadru generată la emisie şi verificată la recepţie.

Cadrele MAC pot fi transmise între staţii radio, între staţie radio şi punct de acces şi între puncte de acces prin sistemul de distribuţie DS. Biţii LaDS şi DelaDS codifică aceste variante şi câmpurile Add1-4 au următoarele semnificaţii:

LaDS	DelaDS	Add1	Add2	Add3	Add4
0	0	DA	SA	BSSID	-
0	1	DA	BSSID	SA	-
1	0	BSSID	SA	DA	-
1	1	RA	TA	DA	SA

Fiecare staţie va recunoaşte Add1 şi dacă ea coincide cu adresa proprie va recepţiona cadrul. Confirmarea recepţiei se face către Add2.

La o reţea de tip Ad-Hoc LaDS/DelaDS=00 cadrul e transmis între două staţii prima fiind Adresa Destinaţie (DA) iar a doua Adresa Sursă(SA)

La o reţea de tip Infrastructură un cadru trimis de la punctul de acces doar bitul DelaDS este 1. Add1 reprezintă DA, Add2 sursa fizică AP identificată prin BSSID iar Add3 sursa logică SA. Această combinaţie reprezintă un cadru transmis la o staţie prin punctul de acces.

La o reţea de tip Infrastructură un cadru trimis la punctul de acces doar bitul LaDS este 1. Add1 reprezintă destinatarul fizic, punctul de acces prin BSSID, Add2 este sursa logică şi fizică iar Add3 destinaţia logică DA.

La o reţea de tip Infrastructură un cadru trimis între puncte de acces LaDS/DelaDS=11 reprezintă un cadru trimis prin reţeaua de distribuţie între puncte de acces. RA este adresa punctului de acces care recepţionează cadrul, TA adresa punctului de acces care trimite cadrul iar DA respectiv SA adresele staţiilor destinaţie şi sursă iniţiale respectiv finale.

Funcţii de management la nivel MAC

Există patru funcţii de management la nivel MAC:

- Sincronizare.
- Managementul puterii de emisie.
- Roaming.
- Managementul MIB.

Funcţia de sincronizare asigură descoperirea unei reţele radio, sincronizarea ceasurilor interne cu cele ale reţelei şi generarea semnalului de balizare.

Funcţia de management al puterii de emisie controlează puterea de emisie pentru reducerea consumului de la baterii, memorarea temporară a pachetelor pe perioadele de consum redus de putere şi trecerea periodică din modul de putere redusă în modul de funcţionare normal.

Funcţia de roaming asigură asocierea iniţială cu un punct de acces precum şi trecerea de la un punct de acces la altul. Există doua moduri de roaming activ şi pasiv. La modul activ o staţie emite cadre de control de tip probe pentru descoperirea de noi puncte de acces. În modul pasiv staţia doar va recepţiona pachete de tip baliză şi în funcţie de calitatea recepţiei poate să decidă asocierea cu un alt punct de acces decât cel curent. La efectuarea unei

reasocieri datele stației care migrează sunt comunicate prin sistemul de distribuție de noul punct de acces pentru a se actualiza tabelele de dirijare corespunzătoare din diverse puncte ale rețelei.

Funcția de management MIB actualizează permanent baza de date asociată stației sau punctului de acces care poate fi accesată prin protocolul SNMP.

Protocoale conexe la IEEE 802.11a și IEEE802.11b

IEEE802.11e MAC enhacements este destinat oferirii de QoS la nivel MAC. Standardul de bază oferă doar posibilități limitate de QoS prin mecanismul de polling.

IEEE802.11f Inter-Access Point protocoll este destinat implementării în detaliu a sistemului de distribuție care nu este specificat în standardul de bază.

IEEE802.11g este un nou standard la nivel fizic care permite în banda de 2,4GHz schimb de date la 54Mbps.

IEEE802.11h Spectrum managed IEEE802.11a este o versiune îmbunătățită a IEEE802.11a care ține cont de reglementările europene din domeniul radio.

IEEE802.11i este un mecanism de securitate mai evoluat decât cel standard, WEP, care s-a dovedit a fi prea slab. Acest nou mecanism prevede algoritmi de criptare și autentificare mai puternici decât WEP.

5.7. Rețeaua DQDB și standardul IEEE 802.6

Standardul IEEE 802.6, numit **DQDB** (*Distributed Queue Dual Bus Subnetwork of a Metropolitan Area Network*), aprobat la începutul anilor '90, constituie primul standard referitor la implementarea unei rețele metropolitane. El se bazează pe o propunere de rețea metropolitană elaborată de Universitatea Western Australia și susținută de Telecom Australia, numită inițial **QPSX** (*Queued Packet and Synchronous Exchange*), și comercializată ca atare.

Standardul precizează elementele subnivelului MAC, necesare funcționării unei rețele de întindere medie (o rețea metropolitană acoperă un domeniu cu diametrul de până la câteva zeci de kilometri), bazată la nivelul **Fizic** pe rețelele de comunicație publice, aflate uzual în proprietatea PTT. Standardele pentru transmisia pe rețelele publice de date prevăd viteze de transmisie diverse, în funcție de mediul folosit, cele mai uzuale astăzi fiind transmiterea la 2 și 10Mbps pentru cabluri bazate pe fir conductor de cupru, iar pentru fibra optică se folosesc transmisii la viteze aproximative de 34, 45, 155Mbps, dar se prevăd utilizări la rate de sute de Mbps (600Mbps).

Acest standard se prezintă nu numai pentru că este un standard 802, ci și pentru că are multe similitudini cu cele dedicate rețelelor locale prezentate, iar o subrețea DQDB poate fi folosită ca trunchi de legătură între două sau mai multe rețele locale. Obiectul standardului este prezentarea unei subrețele DQDB și prezentarea modului de interconectare a mai multor subrețele DQDB, pentru a forma o rețea metropolitană. Interconectarea subrețelelor DQDB se poate face utilizand bridge multiport (vezi fig 5.21), un bridge cu funcții suplimentare față de porțile bridge 802.1D, prezentate de capitolul 6.

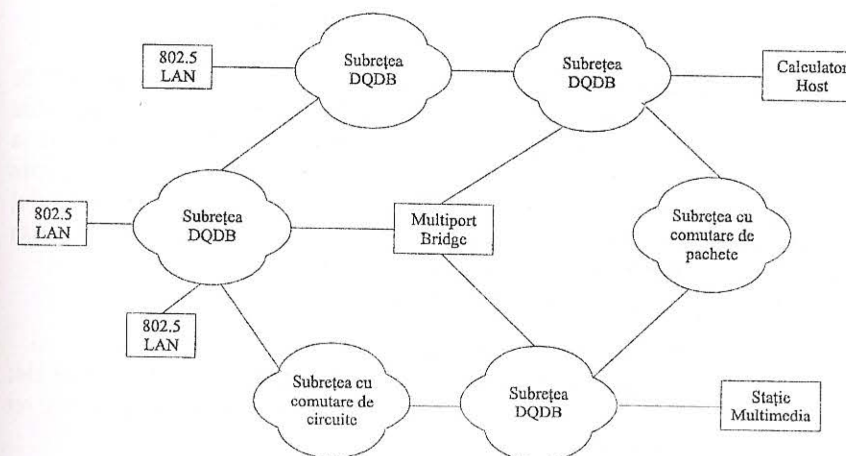


Figura 5.21 Structura unei rețele DQDB

5.7.1. Metoda de acces DQDB

Metoda de acces **DQDB** se bazează pe un algoritm de tratare a cererilor de transmisie folosind fir de așteptare care conține cererile de transmisie ale tuturor stațiilor conectate, și care este gestionat în mod distribuit (*distributed queue*). Algoritmul permite implementarea sistemului de priorități pentru accesul la mediu.

Subrețeaua este construită pe baza a două magistrale (*dual bus*), care transportă datele în direcții opuse (figura 5.22 reprezintă un exemplu de rețea DQDB formată din patru stații). Stațiile sunt conectate la amândouă magistralele (notate în figură Bus A și Bus B) folosind unități de acces AU (*Access Unit*), unități care implementează protocolul DQDB.

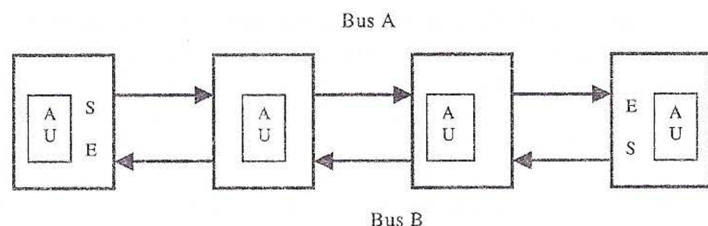


Figura 5.22 Magistrale și unități de atașare

Nodurile de la capetele magistralelor se numesc **noduri terminale**, de capăt (*head nodes*), având funcțiile suplimentare de generare a fluxului de cadre (*slots*) purtătoare de date (**S** - *start of data flow*), respectiv de terminare a fluxului, de scoatere de pe bus a cadrelor (**E** - *end of data flow*). Nodurile terminale sunt stabilite și inițializate de către unitatea software a protocolului DQDB pentru gestionarea nodurilor, și se realizează prin schimb de pachete speciale, numite **LME** (*Layer Management Entities*)

Topologiile permise de standard sunt:

- topologie de magistrală deschisă (*open bus*)
  Este formată dintr-o pereche de magistrale separate între ele; topologia prezintă inconvenientul că în cazul unui defect, nu îl poate izola.

- topologie cu magistrale în buclă (*looped bus*)
  Nodurile terminale realizează conectarea magistralelor într-o structură de dublu inel; topologia permite izolarea căderilor (defectelor) de legături sau stații pe magistrale, prin faptul că stațiile de la extremitățile legăturii căzute, sau vecine ale stației defecte, se reconfigurează ca stații terminale și astfel se revine la o structură de magistrală deschisă, segmentul sau nodul defect fiind scos din structură.

Conectarea fiecărei stații la cele două magistrale de face prin unitățile de acces AU, folosindu-se linii separate pentru citirea datelor și scrierea lor. Conexiunea de citire este situată fizic pe bus înaintea celei de scriere (în sensul fluxului de date), pentru ca o stație să poată copia fluxul de biți din rețea, eventual să-l modifice și apoi să-l transmită înapoi pe magistrală.

Rețeaua DQDB este proiectată să ofere diferite tipuri de servicii pentru transferul datelor, precum:

- *serviciu de transport izocron*, pentru transportul informațiilor în mod sincron și la o viteză constantă (util la transportul informației audio și video);
- *serviciu neconex* (nebazat pe conexiune) la nivel MAC, în care

datele transmise nu sunt achitate și pot avea lungimi diferite;
- *serviciu sigur*, cu achitarea datelor (bazat pe conexiune).

Unitatea de transport a informațiilor la nivelul MAC al protocolului DQDB este cadrul sau slot-ul (felia de timp), a cărui structură este ilustrată de figura 5.23. Slot-urile sunt generate de nodurile terminale de început de magistrală (*start of data flow*), fiind utilizate de fiecare unitate de acces AU. Practic, stația de început a magistralei generează cadre de timp (*frames*) la fiecare 125μs. Cadrul de timp conține un număr de celule, număr ce depinde de viteza de transmisie în mediul fizic folosit. Spre exemplu un cadru de timp posedă 40 slot-uri (celule de timp) pentru viteza de 150Mbps. Sincronizarea stațiilor într-o rețea DQDB se face numai pe baza temporizării asociate sloturilor.

Utilizarea slot-urilor de fiecare stație conectată la magistrală este condiționată de algoritmul de gestionare, care poate fi:

- cu pre-arbitrare **PA** (*Pre-Arbitrated*), dacă se oferă servicii izocrone; în acest caz, slot-urile (notate PA_slot) sunt inițializate la generarea lor cu adresele acelor AU care trebuie să transmită;
- cu arbitrare în firul de așteptare **QA** (*Queue-Arbitrated*), ce permite ca slot-ul (notat QA_slot) să fie folosit de oricare AU, după algoritmul de gestionare a cozii de așteptare a cererilor de la stații.

Structura slot-ului este următoarea:



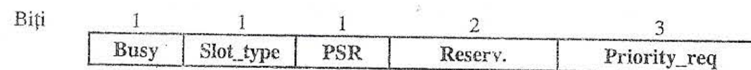
Octeți	1	52
	ACF	Segment

Figura 5.23 Structura unui slot DQDB

Un slot DQDB are lungimea fixă de 53 de octeți, precum și o structură ce conferă o implementare simplă a protocolului în rețelele cu transmisie asincronă bazate pe tehnologia ATM (5 octeți de control și 48 pentru datele propriu-zise).

Un slot poate fi de tip pre-arbitrat, PA_slot, sau de tip QA_slot, cu arbitrare în coada de cereri de acces.

Câmpul de control al accesului **ACF** (*Accesss Control Field*) este de 8 biți, având următoarea structură:



Biți	1	1	1	2	3
	Busy	Slot_type	PSR	Reserv.	Priority_req

Figura 5.24 Structura câmpului de control

Primii doi biți, numiți **Busy** și **Slot_type**, codifică modul de acces la slot, fiind posibile următoarele situații:

Busy	Slot_type	Semnificaţie
0	0	Slot QA fără date (empty)
0	1	Rezervat
1	0	Slot QA ocupat (busy)
1	1	Slot PA

Tabelul 5.3 Modul de acces

Bitul **PSR** (*Previous Slot Reserved*) indică dacă segmentul slot-ului precedent poate sau nu să fie disponibilizat.

Ultimii trei biţi, formează câmpul numit **Priority_req**; ei corespund fiecare la câte un nivel de prioritate. Bitul corespunzător unei cereri de transmisie de o anumită prioritate va fi setat la '1', când se solicită o transmisie cu folosirea unui QA_slot.

Câmpul **Segment** este la rândul său format din două subcâmpuri:

- Subcâmpul antet, numit **Segment Header**, cu lungime de patru octeţi, cu rol de control, având următoarea structură:

Biţi	20	2	2	8
	VCI	Tip payload	Prioritate segment	HCS

Figura 5.25 Structura antetului

Subcâmpul **VCI** (*Virtual Channel Identifier*)
Identifică canalul virtual pe care se transmite segmentul de date, pentru un serviciu bazat pe conexiune. Acest subcâmp va fi setat cu toţi biţii la '1', dacă serviciul MAC este neconex.

Subcâmpul **Tip payload** şi subcâmpul **Prioritate segment**
Sunt actualmente setate la valoarea '0', fiind rezervate pentru aplicaţii viitoare cu folosire de bridge multiport (un bridge multiport poate conecta trei sau mai multe reţele).

Subcâmpul **HCS** (*Header Check Sequence*)
Este folosit pentru detectarea erorilor de un bit asupra antetului, folosind un polinom CRC de grad 8.

- Subcâmpul de date propriu-zis, numit **Segment Payload**, cu o lungime de 48 de octeţi; dacă segmentul este a unui slot de tip PA, octeţii săi nu trebuie să fie folosiţi neapărat de o singură staţie, ci pot fi folosiţi în comun de mai multe staţii ce oferă servicii izocrone; în acest caz fiecare staţie va procesa, prin scriere sau citire, unul sau mai mulţi octeţi alocaţi.

5.7.1.1. Algoritmul de acces la mediu cu arbitrarea cozii de aşteptare

Metoda de acces la mediu cu arbitrarea cozii de aşteptare **QA** (*Queue Arbitration*) oferă un algoritm de acces determinist, eficient şi echitabil. El se bazează pe utilizarea a doi biţi, **Busy** şi **Slot_type**, cu ajutorul cărora verifică disponibilitatea slot-ului şi de asemenea foloseşte subcâmpul de trei biţi **Priority_req** pentru a solicita un acces la magistrală, la un anumit nivel de prioritate.

În figura 5.14 se prezintă o parte a unei reţele DQDB, având două magistrale, notate 'Bus A' şi 'Bus B', la care se conectează, prin intermediul unităţilor de acces AU, nodurile (staţiile) X, Y şi Z.

Fiecare nod conţine lista staţiilor care pot fi accesate folosind o magistrală şi lista celor la care poate transmite folosind cealaltă magistrală. Aceste liste se elaborează şi actualizează în faza de iniţializare, folosindu-se o tehnică de gestionare a lor asemănătoare cu cea prezentată în capitolul 6, referitor la interconectarea prin porţi bridge.

În momentul când o staţie doreşte să transmită, pe baza adresei staţiei destinaţie, staţia emiţătoare stabileşte pentru acea transmisie că una dintre magistrale devine magistrala care înaintează pachetul, magistrala 'înainte' (*forward bus*), iar cealaltă devine magistrala de sens invers, magistrala 'înapoi' (*reverse bus*).

Pentru exemplul considerat, fie situaţia în care staţia X doreşte să transmită către staţia Z. Pentru această transmisie, magistrala 'Bus A' va fi magistrala înainte, iar magistrala sa înapoi va fi 'Bus B'.

Nodul X, folosind linia de citire, analizează slot-urile care circulă pe magistrala 'Bus A' pentru a detecta care slot este disponibil. Nodul nu utilizează primul slot liber detectat, pentru a nu dezavantaja staţiile care sunt mai depărtate pe magistrală faţă de nodul de start. Nodul va prenota însă intenţia sa de transmisie, prin setarea într-un slot care circulă pe magistrala 'înapoi', a unui bit din câmpul **Priority_req**, conform priorităţii pachetului de transmis. Acest pachet circulă pe magistrala B spre nodul de capăt al magistralei B, dar care constituie nodul de start pentru slot-urile magistralei A. În acest fel se creează o coadă de aşteptare cuprinzând cererile de transmisie ale nodurilor. Această coadă se gestionează în mod distribuit, în sensul că la nivelul fiecărei staţii (mai precis la nivelul unităţii de ataşare, unde se implementează algoritmul), vor exista două contoare, pe baza cărora staţia va determina când va avea dreptul să transmită, adică când să insereze informaţia în primul slot liber de pe magistrala sa 'înainte'.

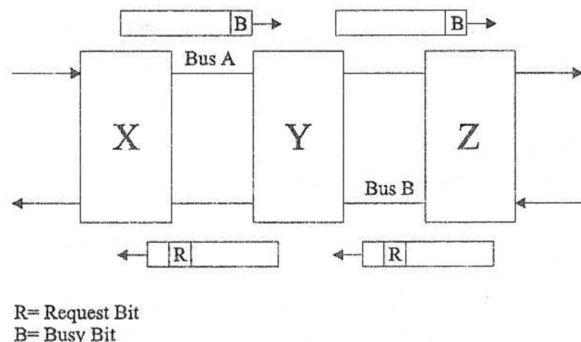


Figura 5.26 Exemplu pentru algoritm

Algoritmul este complicat dacă se utilizează mecanismul de priorităţi, cu trei nivele de prioritate, când trebuie gestionate mai multe cozi de aşteptare, aferente fiecărui nivel, dar dacă se consideră o singură coadă de aşteptare pentru cereri, el constă din următoarele elemente:

- Aferent fiecărei magistrale, fiecare staţie deţine două contoare, unul pentru gestionarea numărului de cereri de transmisie, numit **RQ** (*Request Count*), incrementat de staţie când depistează pe magistrala 'înapoi' un slot ce conţine cerere de transmisie, şi un contor cu decrementare **CD** (*CountDown counter*), decrementat la detectarea fiecărei treceri a unui slot liber pe magistrala 'înainte'. În acest fel fiecare staţie cunoaşte poziţia cererii sale în coadă, atâtea câte cereri sunt de servit în faţa cererii sale curente, cât şi după ea.
- Când staţia are de transmis un pachet, după ce identifică care este magistrala 'înainte' şi care este magistrala 'înapoi', copiază în contorul cu decrementare CD valoarea curentă aflată în contorul de cereri RQ.
- Resetează contorul RQ şi începe un nou proces de numărare a cererilor de transmisie pe magistrala 'înapoi', concomitent decrementând contorul CD la fiecare trecere a unui slot liber (*empty*).
- Când contorul CD ajunge la valoarea zero, poate transmite. La apariţia primului slot liber pe magistrala 'înainte', îl 'capturează' prin setarea bitului **Busy** şi transferă datele de transmis în câmpul **Segment** al slot-ului.

5.7.1.2. Metoda de acces cu prearbitrare

Metoda de acces la mediu cu prearbitrare **PA** (*Pre-Arbitrated*) utilizează slot-uri de tip PA_slot şi este folosită în transmisiile izocrone. Fiecare slot de

acest tip este generat de nodul de start şi poate fi folosit de mai multe staţii cu transmisii izocrone. Slot-ul este asignat unui canal virtual, prin completarea câmpului **VCI** (*Virtual Channel Identifier*) al slot-ului. Fiecare staţie ce prevede transmisii izocrone va identifica un PA_slot şi pe baza câmpului **VCI**, va citi sau va scrie informaţia din octeţii care îi sunt asociaţi.

5.7.2. Serviciul MAC fără conexiune

Pentru substratul MAC, deşi se prevăd mai multe tipuri de servicii către substratul superior din ierarhie LLC, cel mai folosit este serviciul neorientat pe conexiune. Pentru acest serviciu, o unitate de date a serviciului MAC, notată MAC-SDU, este fragmentată (segmentată) şi transmisă pe reţeaua DQDB, prin intermediul slot-urilor.

Funcţia de adaptare a formatului slot-urilor DQDB la formatul pachetelor altor reţele 802.x este îndeplinită la nivelul MAC al staţiilor, şi ea se numeşte **MCF** (*MAC Convergence Function*).

Figura 5.27 ilustrează procesul de segmentare a unităţii de date.

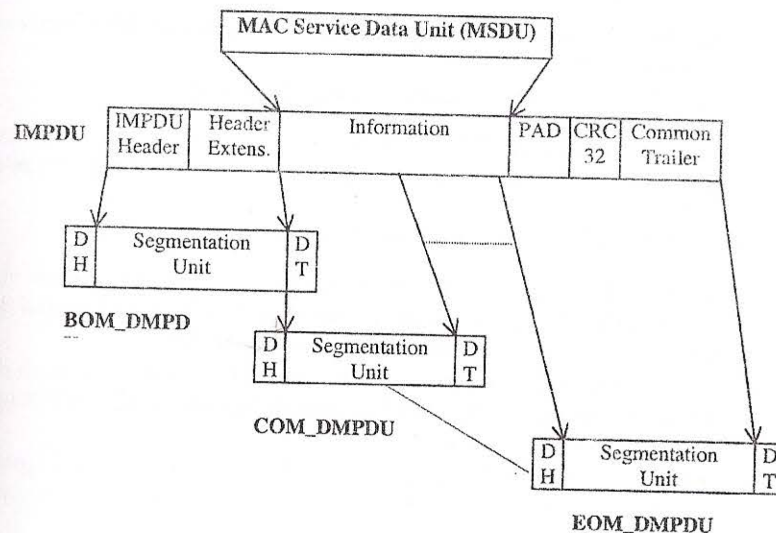


Figura 5.27 Segmentarea unităţii de date

Iniţial se formează structura **IMPDU** (*Initial MAC PDU*), care cuprinde în partea de informaţie, unitatea de date MAC-SDU (MSDU).

Începe apoi fragmentarea pachetului IMPDU în celule de câte 44 de

octeți. Acestor celule li se adaugă un antet **DH** (*DMPDU Header*), în lungime de 2 octeți și un câmp de sfârșit **DT** - coada mesajului - (*DMPDU Trailer*), tot de doi octeți, formându-se unitățile MAC derivate **DMPDU** (*Derived MAC PDU*), cu lungimea de 48 octeți. Aceste unități de date MAC derivate, numite DMPDU, pot fi de trei feluri, după cât de lungă este informația de transportat:

- **BOM_DMPDU** (*Begin of Message DMPDU*), unitate pentru începutul mesajului de transportat;
- **COM_DMPDU** (*Continuation of Message DMPDU*);
- **EOM_DMPDU** (*End of Message DMPDU*).

Antetul DMPDU, câmp notat cu **DH**, conține informație despre:

- Tipul segmentului, informație prezentată în subcâmpul ST (*Segment Type*), care codifică unul dintre tipurile:
  - segment 'început de mesaj' - BOM;
  - segment 'sfârșit de mesaj' - EOM;
  - segment 'continuare a mesajului' - COM;
  - mesaj de un singur segment – SSM.
- Numărul de secvență al segmentului, în subcâmpul **SN** (*Segment Number*).
- Identificatorul de mesaj **MID** (*Message Identifier*).

Trailerul DMPDU, notat **DT**, codifică în cei doi octeți ai săi lungimea încărcăturii, prin câmpul **PL** (*Payload Length*) și suma de control CRC asociată (subcâmpul **CRC**).

Există următoarele situații, în funcție de lungimea mesajului:

- dacă IMPDU are o lungime inferioară de 44 octeți, este necesar un singur DMPDU, care se identifică prin faptul că în câmpul tipului de segment **ST** se setează valoarea corespunzătoare SSM;
- dacă IMPDU are o lungime mai mare decât 44 octeți dar mai mică de 88 octeți, vor exista două DMPDU, unul de început BOM_DMPDU și unul de sfârșit EOM_ DMPDU;
- pentru o lungime superioară de 88 octeți, pe lângă cele două tipuri enumerate mai sus, vor exista un număr necesar de segmente intermediare COM_DMPDU.

Dacă la transmiterea unității de date are loc o segmentare după regulile descrise, la recepție are loc reasamblarea, care se desfășoară după următoarele reguli:

- unitatea de control a accesului din stație, prin verificarea antetului IMPDU, observă pe baza adresei, dacă are dreptul de a procesa acel slot, care este un BOM_DMPDU;
- reasamblarea se efectuează controlând câmpurile număr de secvență **SN** și identificator mesaj **MID**, din antetul fiecărui DMPDU; se controlează astfel lungimea mesajului, pentru a nu exista inserări eronate, se controlează corespondența între antetul și coada fiecărui DMPDU pentru a nu asambla segmente din mesaje diferite, și se fac de asemenea verificări temporale, pentru depistarea întârzierilor nepermise.

Implementarea rețelelor DQDB este datorată mai mult sistemelor comerciale QPSX, folosite pentru interconectarea rețelelor locale, existând realizări în legarea de LAN de tip StarLAN, 10BaseT, Token Ring sau Token Bus, precum și FDDI.

6. INTERCONECTAREA REȚELELOR LOCALE

Rețelele locale, așa cum s-a prezentat în capitolele anterioare, sunt limitate în ceea ce privește numărul de stații care se pot conecta împreună, sau distanța maximă între stații. Necesitățile practice de extindere a acestor parametri a dus la apariția **rețelelor locale extinse**, numite în literatură **ELAN** (**XLAN**) sau **BLAN**. Ele se realizează prin interconectarea rețelelor locale uzuale prin intermediul unor elemente de interconectare numite **punți** sau **porți** (*bridge*). Dacă rețelele conectate sunt rețele 802.x, de același tip, interconectarea este banală. Pot exista însă situații de interconectare de rețele locale care sunt de tipuri 802 diferite. În aceste situații problemele de translatare ale unităților de date ale unui protocol MAC dintr-o rețea în unitatea de date asociată nivelului MAC din cealaltă rețea sunt mai complexe. Formatul cadrelor MAC și deosebirile între rețelele 802 au fost tratate în capitolul 4, ilustrându-se diferențele conceptuale care îngreunează munca de interconectare.

În general, două sisteme de conectează între ele prin intermediul unor dispozitive ce îndeplinesc funcția de convertor de protocol, a cărui complexitate crește odată cu nivelul arhitectural OSI la care se face conversia. Exemple de convertoare de protocol:

- repetoarele, operând la nivelul **Fizic**;
- punțile (*bridges*) pentru conectarea la nivelul **Legăturii de date**, mai precis la subnivelul MAC;
- porți operând la nivelul **Rețea** (*routers*);
- porți operând la nivel **Transport** (*gateways*);
- porți la nivel **Aplicație**.

Elementul de interconectare de tip punte (numită uzual *bridge*), funcționează la nivelul OSI **Legătură de date**, mai precis, conform arhitecturii rețelelor locale, la nivel **MAC**. Figura 6.1 prezintă locul și rolul unui bridge în interconectarea a două LAN.

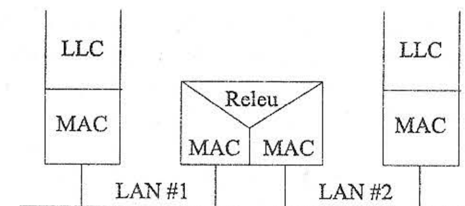


Figura 6.1 Locul unui bridge pentru interconectarea LAN

Cum arată și figura, un bridge trebuie să conțină cel puțin două porturi, fiecare atașat la câte o rețea. Astfel el va putea analiza și procesa pachete din ambele rețele. El va acționa însă printr-o procesare de tip 'recepționează și retransmite' (*store and forward*), doar asupra acelor pachete care trebuie să tranziteze de la o rețea la cealaltă. Această operație se bazează pe analiza câmpurilor de adrese din cadre, deci operația făcută de bridge poate fi considerată una de filtrare (*filtering*) a cadrelor, pe baza adresei (dar nu numai).

Caracteristicile generale ale unui bridge sunt enumerate în cele ce urmează:

- Operează la nivelul OSI **Legătură de date**, mai precis la subnivelul **MAC**.
- Se folosesc doar pentru interconectarea rețelelor locale, foarte rar pentru acces la rețele de mare întindere (rețele MAN sau WAN); pentru accesul la aceste rețele se utilizează echipamente mai complexe, de tip ruter sau gateway.
- Principalele funcții îndeplinite sunt de recepție, filtrare și retransmitere a cadrelor, dar pot îndeplini și anumite funcții de gestionare, pe baza informației de stare a elementelor din rețelele interconectate.
- Pot opera la distanță (*remote bridges*), comunicând între ele prin legături punct-la-punct.
- Posedă algoritmi simpli de dirijare a cadrelor, pe baza unor tabele de dirijare; după locul unde sunt memorate aceste tabele de dirijare (*routing tables*), elementele de tip bridge se împart în:
  - bridge transparent (*transparent bridge*)
    Definit de standardul 802.1D, acest bridge are memorate local tabelele de dirijare și este transparent ('ca inexistent') pentru stațiile din rețelele conectate. El operează în mod transparent (*promiscuous mode*), analizând toate cadrele de la rețelele ce le interconectează. Pe unele le descarcă, dacă ele nu trebuie să părăsească rețeaua, iar pe altele le va înainta către rețeaua destinație. Pentru actualizarea tabelelor de adresare se folosesc algoritmi specifici de parcurgere și învățare a configurațiilor rețelelor ce le conectează.

- bridge cu dirijarea de la sursă (*source routing bridge*)
  Nu memorează tabelele de dirijare, ele fiind menținute în stațiile din rețele; pe baza lor, stația sursă (emițătoare) a cadrului specifică explicit calea de urmat de acel cadru până la destinație, indicând adresele punților care trebuie traversate. Aceste punți sunt potrivite interconectării rețelelor de tip Token Ring, complicând însă interconectarea rețelelor 802.5 cu alte rețele.

Pentru uniformizare, dar și bazat pe avantajele oferite de utilizarea unui bridge transparent, organizațiile de standardizare au propus ca singurul bridge standard să fie bridge-ul transparent, existând posibilitatea ca acesta să efectueze și o dirijare de tip 'bazat pe sursă', ca o opțiune suplimentară, apărând astfel un nou tip de bridge transparent, numit bridge **SRT** (*Source-Routing Transparent*).

6.1. Bridge transparent

Arhitectura logică a unui bridge transparent, ilustrată de figura 6.2, este alcătuită din trei elemente principale:

- *porturile*, sau *interfețele* cu rețelele interconectate; ele acționează la nivelele **Fizic** și al controlului accesului la mediu; pentru un bridge există două sau mai multe porturi;
- *unitatea de filtrare și retransmisie* (înaintare) a pachetelor, acționând la nivel **MAC**, numită și releu sau **convertor MAC** (*MAC relay*);
- *unitatea de nivel înalt*, cu funcții de gestionare a funcționării, precum și de calcul și configurare a topologiei rețelei extinse (folosesc algoritmi de acoperire și traversare ale grafurilor rețelelor).

Principalele funcții îndeplinite de un bridge transparent sunt:

- recepționarea, filtrarea și retransmiterea pachetelor;
- crearea și actualizarea informațiilor necesare dirijării pachetelor (tabelele de dirijare);
- controlul și gestionarea activităților de mai sus.

Recepția pachetelor se face la unul dintre porturile bridge-ului. Aceste pachete recepționate vor trebui retransmise către destinație, utilizând un (eventual) alt port. Pentru fiecare port al fiecărui bridge este necesar a se cunoaște starea în care se află, pentru a cunoaște dacă operația de retransmitere poate fi activată. Un parametru important aferent retransmisiei este timpul cât un pachet așteaptă în coada de așteptare asociată unui port; în acest sens se definește un timp maxim de tranziție prin bridge **MBTD** (*Maximum Bridge Transit Delay*). El depinde și de viteza cu care bridge-ul poate executa operațiile de verificare a corectitudinii cadrului recepționat (verificarea sumei de control din câmpul FCS), sau de viteza de acces la tabela de dirijare.

Filtrarea pachetelor care vor fi retransmise de un bridge se face pe diferite baze, precum:

- adresa destinație;
- o combinație a adresei destinație cu adresa sursă;
- tipul de protocol de nivel 3 conținut în câmpul de informație al pachetului MAC PDU analizat.

Pentru a cunoaște portul la care trebuie retransmis un pachet recepționat și filtrat, este nevoie de informație relativă la configurația rețelei extinse, la starea sa actuală, informație regăsită cel mai adesea în tabelele de dirijare (*routing tables*), numite și **baze de date pentru filtrare**. De asemenea este important ca dimensiunea pachetului în tranzit să nu depășească dimensiunea maximă admisă de bridge.

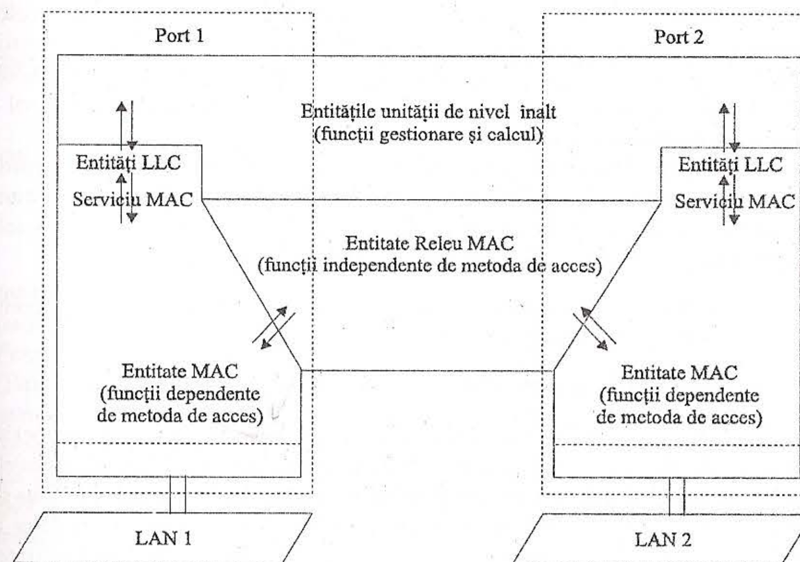


Figura 6.2 Structura logică a unui bridge

Baza de date folosită pentru retransmisia unui pachet este uzual o tabelă de dirijare, construită și întreținută printr-un proces de învățare (*learning*).

Procesul de învățare folosit de standardul 802.1D este de tip învățare regresivă (*backward learning*). În acest scop, procesul de învățare observă adresa sursă (MAC SA) a unui pachet recepționat la un anumit port. Portul

trebuie să fie într-o stare care să permită desfăşurarea procesului de învăţare, şi anume în stare de învăţare sau de retransmisie. Dacă pentru acea adresă nu există o intrare statică (fixată) în tabela de dirijare, iniţiază crearea sau actualizarea unei intrări dinamice în tabela de dirijare, intrare asociată acelei adrese şi acelui port. Prin aceasta se stabileşte că staţia cu acea adresă poate fi accesată de la bridge, prin intermediul acelui port. Aceasta este esenţa algoritmului: pe baza unei adrese sursă, să se creeze o intrare în tabela de dirijare, intrare aferentă unei posibile viitoare adrese destinaţie.

Sistemul de gestiune (*management*) al unui bridge este realizat prin protocoale de management ce fac uz de serviciile subnivelului **LLC** al bridge-ului.

În acest scop, standardul specifică adresa de multicast pentru management (numită *All LAN's Bridge Management Group Address*, cu valoarea 01-80-C2-00-00-10), care serveşte la determinarea tuturor cererilor de servicii de management, emise de la oricare port.

Spanning Tree

În cadrul operării reţelelor locale de calculatoare şi în special a celor dezvoltate pe baza tehnologiei Ethernet principala problemă o constitue înţelegerea şi proiectarea funcţionării Protocolului Spanning Tree. Acest protocol este descris în standardul IEEE802.1d. Importanţa acestui protocol a crescut în urma trecerii la reţele complet comutate.

Protocolul Spanning Tree (STP) a fost elaborat pentru a permite funcţionarea reţelelor de tip Ethernet peste topologii cu căi redundante cu toată contradicţia cu specificaţiile Ethernet. Introducerea căilor redundante în reţele Ethernet este posibilă doar cu îndeplinirea simultană a două condiţii:

- legăturile redundante să fie conectate la dispozitive de tip punte transparentă (bridge) sau comutator;
- aceste punţi sau comutatoare să fie conforme cu IEEE802.1d .

STP are ca finalitate descoperirea şi menţinerea unui arbore de acoperire peste o topologie care conţine legături redundante şi inevitabil bucle. Existenţa buclelor nu poate fi tolerată deoarece Ethernet nu are un mecanism de timp de viaţă al cadrelor similar TTL al pachetelor IP ceea ce ar duce la circulaţia la infinit a cadrelor de tip broadcast sau a cadrelor unicast în eventualitatea coruperii tabelelor de dirijare.

Determinarea arborelui de acoperire

Pentru determinarea arborelui de acoperire se urmează următorii paşi:

- selectarea punţii rădăcină (Root Bridge);
- selectarea căilor spre puntea rădăcină (Root Path Selection);

- selectarea porturilor desemnate pentru un anumit segment de reţea (Designated Ports).

Selectarea punţii rădădcină

Primul pas are ca scop determinarea punţii care va avea rol de rădăcină a arborelui de acoperire. Pentru determinarea punţii rădăcină se utilizează Identificatorul de Punte (Bridge Id). Acest identificator este format dint-un câmp de prioritate pe 16 biţi şi adresa MAC internă a punţii. Partea de prioritate este configurabilă şi permite dirijarea algoritmului de selecţie a Punţii rădăcină.

Prioritate 16 biţi val. default 32678	MAC intern 48 de biţi

Dacă tuplele (u,v) respectiv (s,t) reprezintă două identificatoare de punte BID:

$(u,v) < (s,t)$

dacă şi numai dacă

$u<s$

sau

$u=s$ şi $v<t$

Prin compararea tuturor BID se alege puntea rădăcină cu tupla BID **cea mai mică**. Pentru a se ajunge la o valoare minimă comună pentru toate punţile participante în topologie, această informaţie trebuie propagată în toată reţeaua. Pentru schimbul de informaţii între punţi se utilizează cadre speciale BPDU (Bridge Protocoll Data Unit) care printre altele conţin BIDp BID propriu al punţii care transmite şi BIDr BID al punţii rădăcină cunoscute până în acel moment. Aceste cadre BPDU sunt emise periodic pe toate porturile unei punţi. La pornire câmpurile BIDp şi BIDr sunt egale. La recepţionarea unui cadru BPDU cu o valoare BIDr mai atractivă (mai mică) puntea receptoare va înceta transmisia de cadre BDU cu valoarea câmpului BIDr egală cu BIDp şi va transmite cadre BPDU cu valoarea câmpului BIDr cu valoarea mai atractivă recepţionată. Practic la pornire fiecare punte are impresia că ea este puntea rădăcină, la primire unei informaţii mai bune va retransmite această informaţie la toţi vecinii. Prin acest mecanism se asigură propagarea informaţiei de BIDr în toată topologia.

Selectarea căilor spre puntea rădăcină

Al doilea pas în stabilirea arborelui de acoperire este selectarea căi spre puntea rădăcină. Criteriul de selecție are la bază un cost cu proprietăți aditive. Costul de valoare minimă este selectat pentru calea spre rădăcină de fiecare punte în parte. Costul căii se compune din suma costurilor legăturilor traversate pentru a ajunge de la o punte oarecare la puntea rădăcină.

Costurile sunt valori numerice naturale în intervalul [1 la 200.000.000] și sunt invers proporționale cu lățimea de bandă a legăturii. În cursul existenței protocolului IEEE802.1d aceste valori au fost modificate succesiv pentru a acomoda legături de viteze din ce în ce mai mari. Tabelul de mai jos prezintă situația actuală. Valorile sunt orientative și nu impuse de standard acestea pot fi modificate în funcție de nevoile specifice.

cost = 20 000 000 000/(Viteză legătură în Kb/s)

Viteza legăturii	Costul legăturii
100Kbps	200.000.000
1Mbps	20.000.00
10Mbps	2.000.000
100Mbps	200.000
1Gbps	20.000
10Gbps	2.000
100Gbps	200
1Tbps	20
10Tbps	2

După selectarea căii spre puntea rădăcină portul care asigură calea de cost minim este marcat ca port rădăcină.

Selectarea porturilor desemnate

În cazul în care un segment de rețea are mai multe căi de cost egal spre puntea rădăcină trebuie găsit un port care pentru segmentul respectiv va fi portul desemnat. Va fi desemnat portul care aparține de puntea cu cel mai mic BID. În cazul în care și acestea sunt egale se alege portul cu cel mai mic identificator. Identificatorul de port (PID) este format dintr-o prioritate pe șase biți configurabilă, diferită de prioritatea punții și numărul de port pe zece biți.

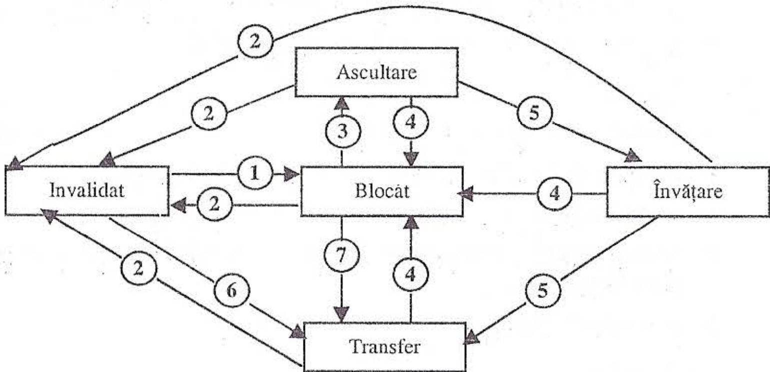
Prioritate Port 6 biți	Număr Port 10 biți
Identificator port PID	

Starea porturilor unei punți

Un port al unei punți se poate afla în una din următoarele patru stări:

Denumire stare		Funcționalitate
Blocking	Blocat	Doar recepționează BPDU
Listening	Ascultare	Construiește topologia activă
Learning	Învățare	Învață adrese MAC din rețea
Forwarding	Transfer	Recepționează și transmite date utilizator
Disabled	Invalidat	Oprit

Diagrama de trecere între stări arată astfel:



Stări și tranziții standard	Costul legăturii
1. Inițializare sau validare port	6. PortFast
2. Invalidare port sau cădere legătură	7. UpLinkFast
3. Port devine port desemnat sau rădăcină	
4. Port încetează a fi rădăcină sau desemnat	
5. Expirare timer	

Acțiuni ale porturilor în diferite stări

Starea Invalidat:

- nici un fel de acțiune nu există legătură pe portul respectiv.

Starea Blocat:

- elimină orice cadru de date primit;

- recepționează cadre BPDU și le trimite modulului sistem;
- nu are tabelă de adrese asociată;
- nu transmite cadre BPDU primite de la modulul sistem;
- primește și răspunde mesajelor de management dar nu le trimite în rețea.

Starea Ascultare:

- elimină orice cadru de date primit;
- recepționează cadre BPDU și le trimite modulului sistem;
- nu are tabelă de adrese asociată;
- procesează cadre BPDU primite de la modulul sistem, acțiune diferită față de recepționarea și transmiterea cadrelor BPDU;
- primește și răspunde mesajelor de management.

Starea Învățare:

- elimină orice cadru de date primit;
- completează tabela de adrese MAC asociată portului;
- recepționează cadre BPDU și le trimite modulului sistem;
- recepționează, transmite și procesează cadre BPDU primite de la modulul sistem;
- primește și răspunde mesajelor de management.

Starea Transfer:

- transferă cadre de date spre și dinspre punte;
- completează tabela de adrese MAC asociată portului;
- recepționează cadre BPDU și le trimite modulului sistem;
- recepționează, transmite și procesează cadre BPDU primite de la modulul sistem;
- primește și răspunde mesajelor de management.

Modificări aduse protocolului Spanning Tree

Rapid Spanning-Tree Protocol (RSTP; IEEE 802.1w) este o versiune evoluată a protocolului de bază și are drept scop creșterea vitezei de convergență a rețelei atât la inițializare cât și la modificarea topologiei. Petru aceasta s-a redus numărul de stări posibile la trei și s-a asignat în plus fiecărui port un rol.

Stările porturilor în RSTP

Cele trei stări sunt: Respingere (Discarding), Învățare (Learning) și Transfer (Forwarding). Prima stare Respingere reunește trei stări ale protocolului inițial: Blocat, Invalidat și Ascultare. Cea mai important beneficiu adus de RSTP este acela că este posibilă tranziția rapidă din starea Respingere în starea Transfer fără alte stări intermediare pentru porturile de tip Muchie (Edge). Aceste porturi de tip muchie sunt porturi care sunt legate de dispozitive non punte sau comutator și nu participă în algoritmul RSTP. Aceste porturi de tip muchie nu vor declanșa modificări de topologie la schimbarea stării legăturii din conectat la neconectat sau viceversa. Porturile care operează în mod full duplex sunt candidate pentru tranziție rapidă iar cele care operează în mod half duplex nu.

Rolurile porturilor în RSTP

În varianta clasică de STP pentru un port ajuns în starea Transfer nu se mai poate decide dacă acesta este port desemnat sau rădăcină iar pentru un port ajuns în starea blocat nu se mai poate cunoaște dacă acesta a fost candidat pentru rădăcină sau pentru desemnat.

RSTP definește cinci roluri posibile pentru un port:

- rădăcină R, portul pe calea spre puntea rădădcină;
- desemnat D, portul desemnat pentru un segment de LAN;
- alternativ A, portul care are o cale alternativă spre puntea rădăcină, alta decât cea furnizată de portul rădăcină curent;
- rezervă r, portul care are legătură de rezervă spre un segment la care un port din aceeași punte este desemnat; acest rol există doar în cazul unei legături multiple la o rețea de tip partajat;
- invalid portul nu participă în RSTP.

Porturile cu rolurile rădăcină și desemnat participă la topologia activă, transmit și recepționează carde utilizator iar porturile cu rolurile alternativ și rezervă nu participă la topologia activă, nu trimit și nu recepționează cadre utilizator.

Toate porturile mai puțin cele cu rol invalid trimit și recepționează cadre de control pentru menținerea topologiei active. La intervale de 2 secunde se generează un BPDU care se trimite prin toate porturile, mai puțin cele invalide. Dacă timp de 6 secunde nu se primește un BPDU de la vecin legătura se consideră pierdută și se trece la reconfigurarea arborelui de acoperire în timp mult mai scurt decât la STP clasic. De exemplu dacă se pierde legătura spre puntea rădăcină și există un port cu rol alternativ acesta devine automat port rădăcină conectivitatea fiind refăcută mult mai repede decât în cazul STP unde

practic se relua algoritmul de la inițializare

Rolurile porturilor sunt exemplificate în figura următoare:

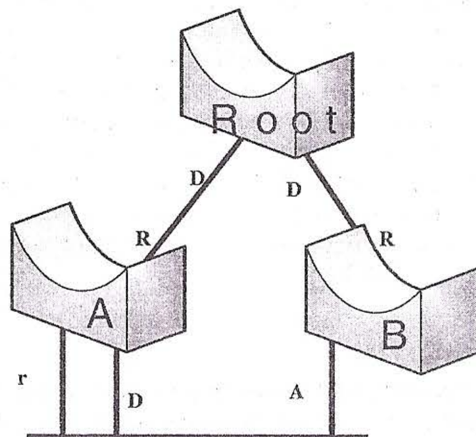


Figura 6.3 Reprezentarea rolurilor porturilor

MSTP Multiple Spanning Tree Protocoll

O altă îmbunătățire adusă STP este MSTP IEEE802.1s (Multiple Spanning Tree). Prin aceasta se permite rularea mai multor instanțe ale algoritmului ST (Spanning Tree) de fapt a RapidST câte una pentru o mulțime de VLAN-uri. Prin aceasta se reduce încărcarea procesorului față de varianta PVST (Per VLAN Spanning Tree), o instanță pentru fiecare VLAN și se permite utilizarea eficientă a legăturilor redundante prin generarea de arbori de acoperire diferiți pentru grupuri de VLAN-uri. Astfel unele legături vor fi active pentru setul 1 și de rezervă pentru alte seturi iar legătura de rezervă a setului 1 va fi cea activă pentru setul 2. Prin aceasta se obține distribuirea traficului prin mai multe legături care altfel ar fi inutilizate. Pentru funcționarea corectă a MSTP asignarea VLAN-urilor la seturi și implicit la instanțe de ST trebuie să fie aceeași pentru o zonă contiguă a rețelei. Punțile având aceeași configurație MSTP formează o regiune MSTP. În cazul unei rețele de mari dimensiuni se pot configura pentru o mai bună utilizare a căilor redundante mai multe regiuni MSTP care pot interacționa.

Selectarea căi active și a celei de rezervă se poate face fie prin configurarea de priorități per set de VLAN-uri, fie prin configurarea de costuri per set de VLAN-uri. Figura prezintă un astfel de exemplu prin configurarea priorităților.

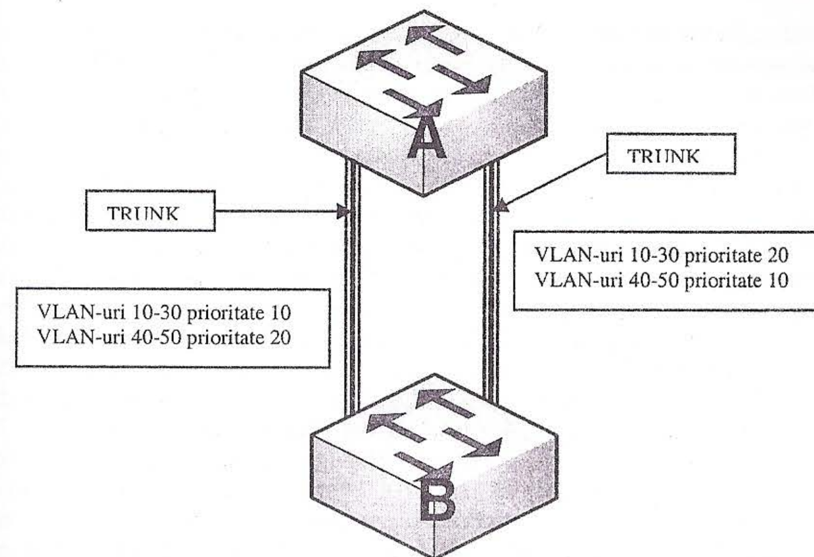


Figura 6.4 Configurarea priorităților

În cazul funcționării normale cadrele marcate aparținând VLAN-urilor de la 10 la 30 vor fi transmise prin legătura TRUNK 1 iar cele marcate aparținând VLAN-urilor de la 40 la 50 vor fi transmise prin legătura TRUNK 2. La căderea unei legături toate cadrele vor fi transmise prin legătura rămasă activă. La refecarea legăturii se reia funcționarea normală și traficul este repartizat prin ambele legături.

6.2. Bridge cu dirijarea de la sursă

O altă modalitate de realizare a dirijării pachetelor într-o rețea extinsă este dirijarea de la sursă a cadrelor care traversează rețeaua. Un echipament de interconectare care se supune unui astfel de algoritm de dirijare se numește **bridge cu dirijarea de la sursă, SRB** (*source routing bridge*). El a fost dezvoltat în primul rând pentru interconectare rețelelor de tip Token Ring, deci a fost susținut de IBM. Pentru interconectarea unei rețele 802.5 cu o rețea 802.3, s-a dezvoltat un bridge numit **SR-TB** (*Source Routing - Transparent Bridge*), la care s-a renunțat din cauza complexității sale.

Standardul IEEE nu adoptă acest tip de bridge și propune ca singur bridge standard pe cel transparent. Pe baza bridge-ului transparent, se poate realiza un bridge, numit **SRT** (*Source Routing Transparent*), care să implementeze, ca un serviciu opțional, metoda de retransmitere bazată pe dirijarea de la sursă.

Un bridge bazat pe dirijarea de la sursă, numit **SRB** (*Source Routing*

Bridge), ilustrat de figura 6.4, se bazează în procesul de retransmitere a pachetelor doar pe informaţia de dirijare conţinută în pachet, mai precis în câmpul **RI** (*Routing Information*), câmp existent în structura cadrelor 802.5. Toate pachetele care nu conţin un astfel de câmp sunt ignorate de bridge. În câmpul de informaţie pentru dirijare **RI** este specificată ruta cadrului spre staţia destinaţie, printr-o listă de adrese de reţele şi punţi, pe care trebuie să le parcurgă respectivul cadru până la destinaţie. Această listă este elaborată de staţia transmiţătoare a cadrului, de staţia sursă. Ruta este stabilită pe baza informaţiilor despre configuraţia reţelei extinse, pe care staţia le are într-o bază de date pentru dirijare, de obicei sub forma unor tabele de dirijare. Aceste tabele trebuiesc iniţializate şi întreţinute. Dacă la bridge-ul transparent, aceasta se realiza printr-un proces de învăţare, pentru dirijarea de la sursă metoda este un pic diferită. Metoda se bazează pe activarea unui proces de 'explorare rută' (*route discovery*), ce foloseşte, pentru determinarea configuraţei BLAN, pachete de explorare, numite pachete '**ARE**' (*All Routes Explorer packets*), transmise în broadcast pe întreaga reţea extinsă. Fiecare bridge care recepţionează un pachet 'ARE', va completa în câmpul **RI** din pachet, identificatorul propriu şi dimensiunea maximă de pachet pe care o acceptă. Informaţia este înscrisă deci la traversarea de către pachet a bridge-ului, deci la trecerea dintr-o reţea locală în alta. Astfel, un pachet 'ARE' va colecta în drumul său spre staţia destinaţie informaţia despre reţelele şi punţile care trebuiesc parcurse. O staţie destinaţie primeşte mai multe pachete 'ARE', cu diferite rute posibile; dintre acestea, ea va selecta pachetul cu ruta optimă, pe care îl va transmite înapoi spre staţia sursă. Pachetele 'ARE' se vor întoarce la staţia sursă cu informaţia corectă şi optimă, necesara iniţializării sau actualizării tabelelor de dirijare.

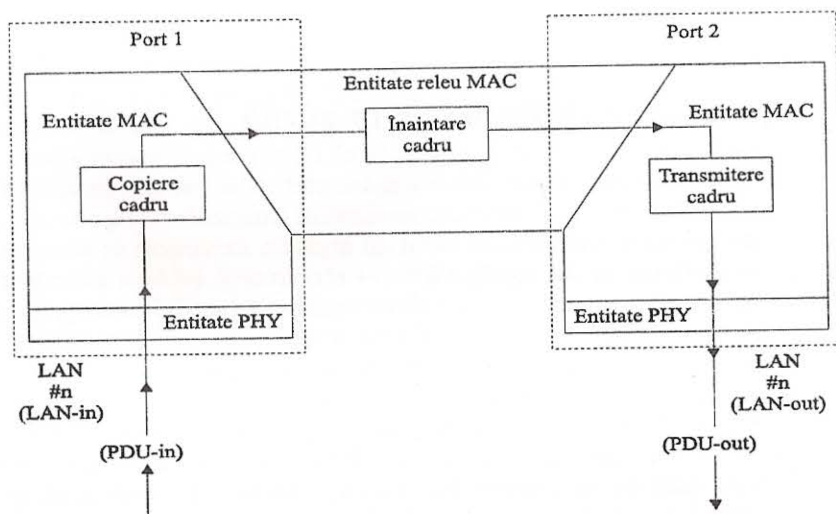


Figura 6.5 Structura logică a unui bridge cu dirijarea de la sursă

Deoarece câmpul **RI** dintr-un cadru 802.5 nu este obligatoriu (se defineşte cu o lungime între 0 şi 30 octeţi), pentru a-i semnala prezenţa în structura cadrului, se foloseşte primul bit din câmpul **SA** (*Source Address*), ca bit indicator de prezenţă. Acest bit, folosit pentru indicarea unei adrese globale/locale, numit **G/L**, devine acum indicator de prezenţă câmp **RI**, fiind numit **RII** (*Routing Information Indicator*). Setarea sa la 1, în condiţii în care nu este necesară adresarea globală, semnifică prezenţa câmpului **RI**.

Singurul bridge standard care efectuează şi dirijarea de la sursă este numit bridge **SRT** (*Source-Routing Transparent*). El execută acest mod de dirijare când în pachetele recepţionate identifică valoarea RII = 1, deci când pachetele transportă şi informaţie de dirijare. Retransmisia pachetului este făcută pe baza rutei conţinute în pachet. Dacă RII = 0, bridge-ul lucrează în mod transparent, retransmiţând pachetul pe baza propriei tabele de dirijare.

Câmpul **RI** este structurat în doua subcâmpuri (vezi figura 6.5), şi anume:

- câmpul de control a dirijării **RC** (*Routing Control*), cu lungimea de 2 octeţi;
- câmpul de descriere rută **RD** (*Route Descriptor*), cu lungimea multiplu de 2 octeţi (câte 2 octeţi pentru fiecare element al căii), dar maxim 28 octeţi lungime (maxim 14 perechi de identificatori de reţele - numere de bridge).

Câmpul de control al dirijării **RC** conţine informaţii despre:

- Tipul pachetului, din punct de vedere al rutei indicate, în subcâmpul **RT** (*Routing Type*); pachetele pot fi:
  - pachet cu parcurs specificat '**SRF**' (*Specifically Routed Frame*), pentru care descriptorul de rută **RD** indică un traseu unic de-a lungul reţelei extinse;
  - pachet de explorare '**ARE**' (*All Routes Explorer*), pachet de broadcast, cu rol de determinare a rutelor posibile de la o staţie sursă către diverse staţii destinaţie;
  - pachet de explorare '**STE**' (*Spanning Tree Explorer*), pachet retransmis (înaintat) de un bridge transparent desemnat numai dacă portul care a receptat pachetul este în starea de retransmisie (*forwarding*); are ca rezultat transmiterea pachetului pe traseul arborelui de acoperire (multicast pe arborele de acoperire), deci fiecare reţea va primi acest pachet doar o singură dată.
- Lungimea câmpului **RI**, memorată în câmpul **Ln** (*Length*).
- Direcţia în care pachetul traversează reţeaua extinsă, specificată de bitul **D** (*Direction*); dacă acesta are valoarea 0, direcţia va fi cea specificată în **RI** (de la RD1, către RD2, ... , către RDn), iar dacă va

avea valoarea 1, direcția va fi cea inversă; pachetele de explorare nu au nevoie de acest bit, setându-l la 0.

- Lungimea maximă a cadrului care circulă în BLAN, specificată prin câmpul **LF** (*Largest Frame*); biții acestui câmp specifică dimensiunea maximă a unității de date a serviciului MAC (MAC SDU), unitate conținută în câmpul **Info** al cadrului; câmpul are semnificație pentru pachetele de explorare, iar valoarea memorată poate fi setată de stația sursă a cadrului sau poate fi modificată de punțile din cale și de stația receptoare.

Câmpul pentru descrierea rutei **RD** este de maxim 28 de octeți, deci poate memora adrese a cel mult 14 elemente pereche (LAN și bridge) din rețeaua extinsă. Fiecare unitate de descriere (RD1, RD2, ... ,RDn) este compusă din doi octeți, ce conțin perechea (LAN ID, Bridge Nr.), identificatorul LAN (LAN ID) fiind de 12 biți, iar numărul asignat bridgeului (Bridge Nr.) ocupând 4 biți.

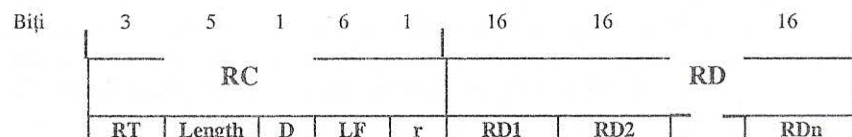


Figura 6.6 Structura câmpului RI

6.3. Comparație între cele două tipuri de punți și justificarea standardului 802.1D

Deși la nivel strict conceptual, cele două tipuri de punți 802, au fiecare avantaje și dezavantaje (enumerate în continuare, alături de o prezentare comparativă a principalelor caracteristici), din punct de vedere practic s-au impus punțile transparente, validate și prin standardizarea 802.1D.

Metodele de rezolvare a interconectării folosite de cele două tipuri de punți sunt diferite ca orientare a serviciilor oferite. Dacă puntea transparentă oferă servicii neorientate pe conexiune, dirijând independent fiecare cadru și fiind complet transparentă pentru toate stațiile din rețea, punțile cu dirijare de la sursă se bazează pe servicii orientate pe conexiune, conexiune stabilită la începutul activității, prin folosirea pachetelor de explorare. Deși serviciul orientat pe conexiune oferă o siguranța suplimentară, în cazul interconectării rețelelor locale se dovedește încă odată că serviciile rapide și flexibile sunt de preferat. Comportarea dinamică satisfăcătoare a primului tip de bridge, compatibilitatea sa cu oricare dintre tipurile de rețele locale 802.x și ușurința de gestionare a activității, sunt argumente pentru

folosirea punții transparente.

Deși algoritmul folosit de poarta cu dirijare de la sursă pentru aflarea rutelor optime este mai precis decât cel al porții transparente, oferind întotdeauna ruta optimă între două noduri, față de aproximarea grafului prin arborele de acoperire, construit pe baza învățării regresive îndeplinite de punțile transparente, complexitatea problemelor date de creșterea explozivă (exponențială) a numărului pachetelor de explorare complică gestionarea, afectând negativ viteza și respectiv costul metodei.

Un alt aspect care influențează producătorii în alegerea metodei de dirijare este rapiditatea cu care porțile reacționează la apariția defectelor și gradul în care un defect influențează funcționarea întregului sistem. În cazul folosirii bridge-ului transparent, defectul (ce poate afecta o legătură, un bridge sau o stație host) este detectat rapid, fiind transmis din poartă în poartă (prin algoritmul de învățare regresivă). În cazul punții cu dirijarea de la sursă, stațiile sursă pot detecta o cădere în rețea, prin lipsa sosirii achitării, sau expirarea unor perioade de time-out; în ambele situații însă, decizia de considerare a defectului se ia lent.

Toate aceste considerații, coroborate cu renunțarea parțială la promovarea metodei de interconectare bazată pe dirijarea de la sursă de însăși creatorii ei (cercetătorii de la **IBM**), justifică decizia IEEE de a standardiza puntea transparentă, oferind ca un serviciu suplimentar posibilitatea producerii de punți care să implementeze și cealaltă metodă.

6.4. Rețele locale virtuale

6.4.1. Rețele Locale Virtuale VLAN

Definiție

O Rețea Locală Virtuală VLAN este o mulțime de dispozitive conectate în rețea care au un set de cerințe comune referitoare la comunicația în rețea și care se comportă într-un mod similar celor conectate la același segment de cablu indiferent de poziția lor geografică în topologia rețelei. Un VLAN are aceleași proprietăți ca un segment fizic de LAN cu deosebirea că dispozitivele conectate se pot afla în locații diferite.

Standardul care reglementează în prezent funcționarea rețelelor virtuale este standardul IEEE802.1q.

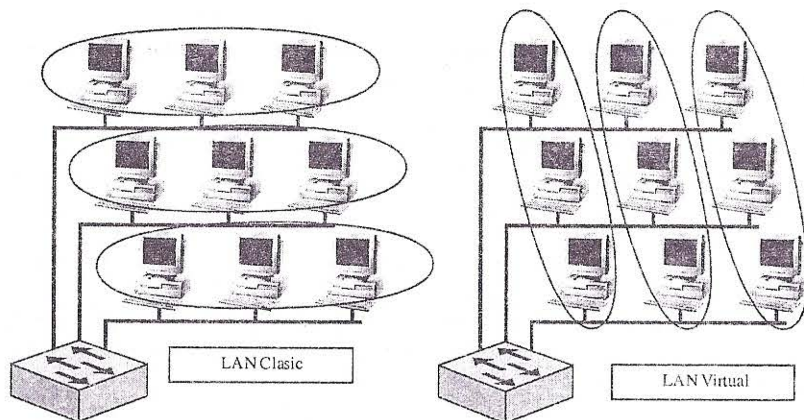


Figura 6.7 Obținerea unui plan virtual

În utilizarea VLAN există două practici răspândite. Prima grupează dispozitivele în principal pe criterii geografice și restrânge aria unui VLAN iar a doua permite extinderea unui VLAN pe toată aria rețelei (Campus wide) și conectează dispozitive dispersate.

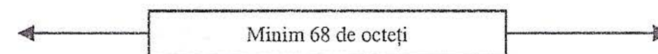
Motivații pentru utilizarea VLAN

Prin utilizarea VLAN se obține o flexibilitate mai mare în amplasarea și reamplasarea calculatoarelor conectate, o creștere a gradului de securitate în rețea, control sporit asupra pachetelor de broadcast precum și o eficiență mai mare a utilizării lățimii de bandă disponibile.

Utilizarea VLAN nu elimină necesitatea unui Router și nu simplifică managementul și monitorizarea unei rețele ci dimpotrivă crește complexitatea acestor activități.

Funcționarea unui VLAN

În cadrul unui VLAN pot fi deosebite două tipuri de legături: Acces și Trunk. Legăturile de tip acces sunt legături între un comutator VLAN capabil și un dispozitiv ce nu are aceste capabilități. Legăturile de tip Trunk sunt între două comutatoare VLAN capabile și care transportă pachete Ethernet modificate conform IEEE802.1q care aparțin la mai mult de un VLAN. Structura pachetului modificat este prezentată în figura următoare.



Preambul	SFD	AdDest	AdSursa	TPid	TCid	Tip/lungime	Date	FCS
7 octeți	1 octet	6 octeți	6 octeți	2octeți	2 octeți	2 octeți	variabil	4 octeți

Minim 68 de octeți

Figura 6.8 Structura unui cadru VLAN

Unde TPid are valoare 8100H valoare fixată pentru pachete de tip Ethernet modificate.

TCid are o structură pe biți

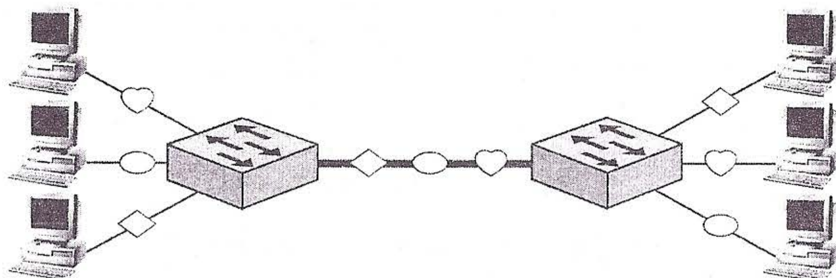
Prioritate			CFI	Identificator VLAN											

unde:

- Prioritate număr întreg între 0 și 7.
- CFI =0 pentru format canonic.
- Identificator VLAN număr întreg între 1 și 4094:
  - valoarea 0 este rezervată pentru marcarea cadrelor doar cu informație de prioritate;
  - valoarea 4095 este rezervată;
  - valoarea 1 este și valoarea default.

Modul de utilizare al biților de prioritate este prezentat în tabelul următor:

Prioritate	Acronim	Tip trafic
1	BK	Background
2	-	rezervă
0(implicit)	BE	Best Efort, tradițional
3	EE	Efort Excelent
4	CL	Încărcare controlată
5	VI	Video
6	VO	Voce
7	NC	Control Rețea



legătură de tip acces ——— legătură tip trunk ▬▬▬

Figura 6.9 Legături în rețea VLAN

Asignarea dispozitivelor la rețele virtuale

Pentru asignarea unui dispozitiv la un anumit VLAN există două posibilități: static și dinamic. Asignarea statică se face prin configurarea comutatorului prin asignarea unui anumit port al acestui comutator la un anumit VLAN. Asignarea dinamică se face pe baza unor criterii definite de administrator. Asignarea se poate face dinamic per port sau per pachet. La asignarea per port toate pachetele ce intră sau ies printr-un anumit port vor face parte din același VLAN apartenența fiind o dată stabilită. La asignarea per pachet pachete diferite primesc apartenență diferita la VLAN în funcție de unele criterii cum ar fi: adresă MAC, protocol rețea transportat sau aplicație.

Controlul traficului

Pachetele de unicast, multicast sau broadcast originate într-un anumit VLAN for fi transmise de comutator doar pe porturile care fac parte din același VLAN. Pentru aceasta comutatorul menține o tabelă de direcționare pentru fiecare VLAN configurat în comutator. Numărul de VLAN-uri ce pot fi suportate de un anumit dispozitiv poate fi mai mic de numărul maxim posibil de 4094. Standardul IEEE802.1q prevede posibilitatea limitării numărului de VLAN-uri suportate cu obligația de a accepta orice valoare pentru Identificatorul VLAN (VLANID) în domeniul [1-4094]. Este posibilă existența mai multor instanțe ale algoritmului Spanning_Tree câte una pentru fiecare VLAN sau câte una pentru mulțimi disjuncte de VLAN-uri. Acest fapt permite utilizarea legăturilor redundante care altfel ar fi inutilizate.

Dispozitive care aparțin de VLAN-uri diferite nu pot comunica doar prin intermediul unui dispozitiv de nivel 2, legătură de date, de tip comutator ci este necesară utilizarea unui router sau a unui alt dispozitiv de nivel 3 rețea.

Cadrele care sunt recepționate pe un port de tip acces în format clasic și

trebuie transmise pe o legătură de tip trunk vor fi modificate prin înserarea a patru octeți de control, TPid și TCid și se va recalcula FCS pentru a valida cadrul. Pentru sensul invers de la un port de tip trunk spre un port de tip acces comutatorul va elimina câmpurile TPid și TCid și va recalcula FCS. Transmisia se face doar spre porturile care sunt asignate VLAN-ului codificat în câmpul TCid.

Tipuri de VLAN și asignarea acestora

Există 4 tipuri de VLAN clasificate după modul de utilizare:

- VLAN nativ.
- VLAN default.
- VLAN de management.
- VLAN utilizator.

VLAN nativ este acel VLAN care este transportat peste legături de tip trunk fără informație explicită VLAN-id, nemarcat, în format clasic. Este esențial ca VLAN-ul nativ să fie configurat același în ambele capete ale legăturii. Nu se recomandă utilizarea acestuia. La inițializare acesta este VLAN-ul 1. Prin VLAN-ul nativ, dacă este VLAN-ul 1 se poate transmite traficul de control între comutatoare.

VLAN default este VLAN-ul de care aparțin toate porturile la punere în funcțiune și are VLANid=1. Acest VLAN nu poate fi șters și este transportat implicit prin toate legăturile de tip trunk.

VLAN de management este VLAN-ul la care este asignată interfața internă a unui comutator și este utilizat pentru configurarea și monitorizarea de la distanță. La inițializare acesta este tot VLAN-ul 1.

VLAN utilizator sunt VLAN-urile configurate care transportă traficul utilizatorilor.

Pentru a spori securitatea în funcționare a rețelei se recomandă modificarea VLAN-ului nativ din 1 și evitarea utilizării VLAN-ului nativ atât pentru trafic de control și management cât și pentru trafic utilizator. De asemenea pentru VLAN-ul de management se va utiliza un VLAN diferit de cel native și diferit de VLAN-ul 1.

Pentru o utilizare eficientă și o maximă securitate, se recomandă următorul mod de asignare a VLAN-urilor:

- VLANid=1 (default) marcat explicit doar pentru trafic intre comutatoare;
- VLANid=2 nativ, nemarcat și neutilizat;
- VLANid=3 marcat explicit VLAN pentru management;
- VLANid>3 marcat explicit pentru trafic utilizatori.

7. ACCESUL LA REȚELELE PUBLICE

7.1. Nivelul fizic al accesului

7.1.1. Introducere

Capitolul începe seria prezentării noțiunilor referitoare la accesul (de la o stație a unei rețele locale) la rețelele de mare întindere, la meta-rețele. Se începe cu prezentarea problematicii referitoare la accesul la nivelul **Fizic**.

Cel dintâi și cel mai simplu serviciu pentru transmisiile de date a fost obținut prin utilizarea unui canal telefonic obișnuit, accesat prin intermediul unui modem. Liniile telefonice comune sunt linii **comutate**, deoarece o legătură între două elemente ale rețelei se stabilește prin intermediul circuitelor de comutare din centralele telefonice. Pentru realizarea unor rețele de comunicații stabile și sigure, de viteză cât mai ridicată, este nevoie însăa de linii telefonice cu performanțe superioare, care să nu fie afectate de procesele de comutare din centrale (oficii de comutare), fiind necesare liniile telefonice dedicate sau **închiriate**, numite și **canale analogice directe**.

Prin introducerea centralelor telefonice digitale, a început procesul de înlocuire a liniilor telefonice analogice prin trunchiuri digitale de mare viteză, apărând posibilitatea punerii la dispoziția constructorilor de rețele a **canalelor directe digitale**, făcându-se posibilă dezvoltarea unor rețele de mare întindere cu o viteză ridicată și rată scăzută de erori; în acest mod, doar linia de legare a utilizatorului către centrală (bucla locală) a rămas cea 'clasică'.

Prin apariția rețelelor publice comutate digitale **ISDN** (*Integrated Services Digital Network*), și această ultimă legătură analogică (de la utilizator la centrală) este înlocuită, apărând posibilitatea integrării pe o linie telefonicăa a unor servicii diverse, precum: telefonie, transmisie de date, fax, video-conferințe, telealarme, etc.

7.1.2. Interfața serială

Toate echipamentele (terminale, calculatoare, routere, punți bridge) care se conectează la linia de transmisie telefonică, fie ea analogică, fie digitală, folosesc pentru realizarea conectării, **interfața serială**. Standardele CCITT au introdus notațiile **DTE** (*Data Terminal Equipment* - Echipament Terminal de Date) pentru echipamentele care se conectează (cele enumerate mai sus), și **DCE** (*Data Circuit-Terminating Equipment* - Echipament Terminator al Circuitului de Date) pentru aparatura de comunicație folosită, cum ar fi **modemul**. Conectarea unui DTE cu un

DCE constituie o parte a conținutului prevăzut de modelul ISO OSI pentru nivelul său **Fizic**. Există numeroase standarde care definesc protocoale pentru acest tip de nivel **Fizic**, precum RS-232, RS-449, V.24, V.35, primele două fiind cele mai răspândite și fiind prezentate sintetic în continuare.

Standardele RS-232 și RS-449

Protocolul (la nivel **Fizic**) privind conectarea unui DTE la un DCE, este specificat prin mai multe standarde, dintre care standardul EIA RS-232C sau versiunea internațională CCITT V.24 (între ele există mici deosebiri nerelevante) fiind cele mai răspândite. Ele au fost elaborate în anii '70 iar în 1987 a apărut versiunea D a standardului, menită să depășească limitările inițiale (cele mai grave fiind viteza maximă a modemului de 20Kbps și lungimea cablului de legătură, de max. 15m). Tot în această perioadă s-a dezvoltat un nou standard (de fapt trei standarde într-unul singur), numit **RS-449**, menit nu numai să amelioreze performanțele (viteza maximă crește la 2Mbps, cabluri de până la 60m lungime), dar să păstreze și compatibilitatea cu standardul vechi.

Standardele nivelului **Fizic** pentru legătura DTE - DCE (ca orice standard pentru nivelul fizic), specifică caracteristicile mecanice, electrice, funcționale și procedurale ale legaturii.

Standardul RS-232C

Specificațiile mecanice se referă la caracteristicile unui conector cu 25 de pini (organizați pe două șiruri, unul cu 13, celălalt cu 12 pini), în formă de "D", prezentat de figura 7.1. Se statuează toate caracteristicile mecanice ale conectorului: lățimea totală, distanța între doi pini succesivi, distanța între cele două șiruri de pini, etc.). Se mai folosesc însă și alte tipuri de conector, ca de exemplu cel în "D", cu 9 pini (ca o consecință a faptului că în aplicațiile uzuale este necesar un număr restrâns de semnale).

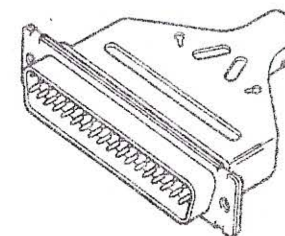


Figura 7.1 Conector RS-232C

În general însă se statuează pentru conectorul "mamă" să fie montat pe modem (DCE), iar conectorul "tată" pe terminal (DTE).

Specificațiile electrice ale standardului precizează corespondența între valorile binare transportate și valorile în tensiune ale semnalelor. Un semnal cu un potențial negativ, cuprins între valorile negative -15V și -3V reprezintă valoarea binară 1, iar un semnal pozitiv între +3V și +15V transportă valoarea binară 0.

Specificațiile funcționale indică semnificația circuitelor conectate la cei 25 de pini ai conectorului standard. Dintre cele 25 de semnale, 9 sunt prezente obligatoriu, celelalte nefiind necesare pentru majoritatea aplicațiilor. Cele 9 semnale uzual folosite sunt ilustrate de tabelul 7.1, care prezintă și corespondența între circuitele de interfață pentru conector de 25 pini și cel de 9 pini (întâlnit la unele familii de calculatoare personale).

9 pini	Semnal	25 pini
1	Carrier Detect	8
2	Received Data	3
3	Transmitted Data	2
4	Data Terminal Ready	20
5	Signal Ground	7
6	Data Set Ready	6
7	Request To Send	4
8	Clear To Send	5
9	Ring Indicator	22

Tabelul 7.1 Corespondența semnalelor interfeței

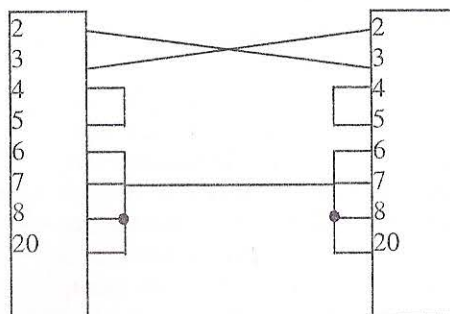


Figura 7.2 Exemplu de null-modem

Întreaga secvență a circuitelor RS-232 este prezentată de tabelul 7.2.

Nr. pin	Cod CCITT	Descriere circuit
1	101	Protective Ground
7	102	Signal Ground/Common Return
2	103	Transmitted Data (TD)
3	104	Received Data (RD)
4	105	Request To Send (RTS)
5	106	Clear To Send
6	107	Data Set Ready (DSR)
20	108	Data Terminal Ready (DTR)
22	125	Ring Indicator
8	109	Data Carrier Detect (DCD)
21	110	(Remote Loopback)/Signal Quality Detector
23	111	Data Signal Rate Selector (DTE)
23	112	Data Signal Rate Selector (DCE)
24	113	Transmitter Signal Element Timing (DTE)
15	114	Transmitter Signal Element Timing (DCE)
17	115	Receiver Signal Element Timing (DCE)
14	118	Secondary Transmitted Data
16	119	Secondary Received Data
19	120	Secondary Request To Send
13	121	Secondary Clear To Send
12	122	Secondary Data Carrier Detect

Tabelul 7.2 Semnalele de interfață

Specificațiile procedurale reprezintă regulile de activare ale semnalelor, succesiunea logică a evenimentelor. Protocolul se bazează pe activarea unor perechi de semnale cu semantica de tip 'acțiune-reacțiune' sau 'cerere-răspuns'.

Un caz foarte întâlnit este acela când se dorește conectarea a două calculatoare prin interfața serială, la o distanță de până la 15m. Cum în acest caz nu este necesară existența fizică a modemurilor, problema de interfață iscată de standard (cum se leagă firele la cei doi conectori, în orice caz nu pin-la-pin), se rezolvă printr-un echipament numit **modem-nul** (*null-modem*), care este de fapt un cablu scurt. El realizează de fapt încrucișările de fire necesare (linia de transmisie a unui calculator este dusă la linia de recepție a celeilalte părți, etc.). Figura 7.2 prezintă un exemplu de cablu RS-232 null-modem cu trei fire, cazul uzual întâlnit în practică.

Standardul RS-449

Standardul RS-449 a dus la creșterea performanțelor oferite de folosirea interfețelor seriale și în același timp a oferit compatibilitatea cu standardele vechi. Acest lucru s-a realizat însă prin înglobarea în standardul RS-449 a trei standarde.

Interfețele mecanice, funcționale și procedurale sunt date de standardul

RS-449, dar interfaţa electrică este dată de două standarde. Astfel standardul RS-423A este similar cu RS-232C prin faptul că toate circuitele folosesc aceeaşi împământare, tehnică numită **transmisie neechilibrată**. Standardul RS-422A specifică însă folosirea de către fiecare circuit important a propriului circuit de împământare (transmisie pe două fire), deci avem o **transmisie echilibrată**.

Circuitele electrice folosite de standard sunt prezentate în tabelul 7.3, observându-se introducerea de noi circuite, cum ar fi cele pentru testare.

Mnemonica	Descriere circuit	Mnemonica	Descriere circuit
SG	Signal Ground	SC	Send Common
RC	Receive Common	IS	Terminal in Service
IC	Incoming Call	TR	Terminal Ready
DM	Data Mode	SD	Send Data
RD	Receive Data	TT	Terminal Timing
ST	Send Timing	RT	Receive Timing
RS	Request to Send	CS	Clear to Send
RR	Receiver Ready	SQ	Signal Quality
NS	New Signal	SF	Select Frequency
SR	Signaling Rate Selector	SI	Signaling Rate Indicator
SSD	Secondary Send Data	SRD	Secondary Receive Data
SRS	Secondary Request to Send	SCS	Secondary Clear to Send
SRR	Secondary Receiver Ready	LL	Local Loopback
RL	Remote Loopback	TM	Test Mode
SS	Select Standby	SB	Standby Indicator

Tabelul 7.3 Semnalele folosite de interfaţa RS-449

Ca şi caracteristici mecanice importante este de amintit folosirea unui conector cu 37 de pini şi adăugarea unuia opţional cu 9 pini, dacă se foloseşte şi canalul de transmisie secundar.

Standardul s-a dovedit destul de complex pentru a avea succesul aşteptat şi de aceea s-a dezvoltat un nou standard, **RS-530** menit să facă corecţiile necesare unei mai bune răspândiri pe piaţa echipamentelor de comunicaţii (printre altele a redus numărul de semnale 'moştenite' de la interfaţa RS-232, păstrând transmisia echilibrată introdusă de RS-449, pentru a putea oferi viteze până la 2Mbps).

7.1.3. Modemul analogic

Privit în cel mai simplu mod, un modem converteşte semnalele electrice pe care le primeşte, în semnale analogice pe care le poate transmite sistemului telefonic. Aceste modemuri modulează semnalele digitale în semnale analogice şi demodulează semnalele analogice în semnale digitale.

Natura procesului de conversie a semnalului depinde de sursa şi destinaţia semnalului pe care îl transmite modemul. Modemul primeşte semnale binare de la un terminal sau calculator şi le converteşte în semnale având frecvenţa în domeniul semnalului vocal (tonuri). El transmite aceste sunete prin sistemul telefonic public. La destinaţie, un alt modem, compatibil cu primul, converteşte aceste sunete în semnale electrice binare, pe care le trimite unui terminal sau calculator. În unele cazuri, modemul poate să primească mesaje pe care le converteşte şi le trimite unei imprimante seriale. Semnalele numerice trebuie să fie convertite în semnale analogice deoarece echipamentele folosite în sistemul telefonic 'clasic' asigură funcţii de amplificare şi de filtrare care ar altera semnalele digitale. O altă limitare impusă de calitatea echipamentului telefonic public este viteza la care pot fi transferate datele. Modemurile obişnuite operează la viteze de 2400 biţi pe secundă (bps) sau mai puţin. Utilizatorii pot totuşi comunica la viteze de până la 19200 bps folosind acelaşi echipament telefonic.

Modemurile pot fi diferenţiate după:

- **viteză**, având modemuri de viteză mică, medie şi mare;
- **protocolul** de nivel fizic implementat;
- **proprietăţi** ale procesului de transmisie (transmisia sincronă/ asincronă, full/half duplex), ale liniilor folosite (comutate sau dedicate), ale tehnicilor de modulare folosite (în amplitudine, fază, frecvenţă, cuadratică, etc.);
- **complexitate**, având modemuri elementare sau modemuri inteligente;
- **loc de montare**, sau altfel spus: modem extern sau placă internă de fax/modem.

Producătorii au reuşit să îmbunătăţească mult performanţele modemurilor. Ei au reuşit să crească debitul de 32 ori, în timp ce vitezele de semnal au crescut de 4 ori. Deci prin creşterea complexităţii modemurilor a devenit posibilă utilizarea în continuare a sistemului telefonic, ca suport al transmisiei.

Există o mare varietate de **standarde** pentru modemuri. Ele provin în principal de la trei surse:

- standardele de **modulare** şi **codificare** sunt în principal **Standarde Bell** sau **Recomandări CCITT** (Comitetul Consultativ Internaţional pentru Telefonie şi Telegrafie);
- standardele pentru **interfeţe** sunt fie **Recomandări CCITT**, fie **Standarde EIA/TIA** (*Electronic Industries Association/Telecommunication Industries Association*);
- în prezent, noile standarde pentru modemuri sunt create de către **ITU-T** (*International Telecommunication Union*), noua denumire a CCITT.

În tabelul 7.4 sunt prezentate câteva standarde de modemuri. Respectarea lor de către fabricanţi asigură comunicarea între modemuri provenind de la diverşi producători.

Viteza datelor	Standard	Tipul Liniei	Tehnica modulare	Tipul transmisiei	Duplex
300	BELL 103A,E	Comutată	FSK	Asincronă	Half+Full
300	CCITT V21	Comutată	FSK	Asincronă	Half+Full
600	CCITT V22	Comutată Închiriată	PSK	Asincronă	Half+Full
1200	BELL 202C	Comutată	FSK	Asincronă	Half
1200	CCITT V.22	Comutată Închiriată	PSK	Asincronă Sincronă	Half+Full
2400	CCITT V.22bis	Comutată	QAM	Asincronă	Half+Full
2400	BELL 201C	Comutată	PSK	Sincronă	Half+Full
4800	CCITT V27	Închiriată	PSK	Sincronă	Half+Full
4800	BELL 208A	Închiriată	PSK	Sincronă	Half+Full
9600	BELL 209A	Închiriată	QAM	Sincronă	Full
9600	CCITT V.32	Comutată Închiriată	TCM/QAM	Asincronă	Half+Full
14400	CCITT V.32bis	Comutată Închiriată	TCM/QAM	Asincronă	Half+Full

Tabelul 7.4 Standarde pentru modemuri

Deşi au fost mult utilizate împreună cu calculatoare personale, începând cu anii '80 **modemurile de viteza mică** au cedat locul celor mai rapide. Totuşi, se produc în continuare modemuri de viteză mică, deoarece există situaţii în care ele sunt necesare. Cele mai ieftine modele nu suportă formarea automată a numerelor şi răspunsul automat şi nu pot fi folosite pentru a memora numerele de telefon. Pentru modemurile de viteză mică referinţa este standardul Bell-103 sau standardul CCITT V21. Caracteristica **modemului Bell-103** este felul în care acesta efectuează funcţiile cerute. Sunt folosite intervale de frecvenţă audio specifice, pentru a diferenţia datele transmise de cele recepţionate. Metoda se numeşte **multiplexarea în frecvenţă** sau **FSK** (*Frecquency Shift Keying*). Modemurile se pot afla pe post de iniţiator (*originate*), sau pe post de repondent (*answer*), în funcţie de iniţierea legăturii. Astfel modemurile Bell-103 (şi cele compatibile) au următoarea convenţie:

- **banda 1070-1270 Hz** - este banda de emisie pentru un modem iniţiator şi banda de recepţie pentru un modem respondent;
- **banda 2025-2225 Hz** - este banda de recepţie pentru modemul iniţiator şi banda de emisie pentru modemul repondent.

Pentru CCITT V21 benzile de frecvenţă corespunzătoare sunt 980-1180Hz, respectiv 1650-1850Hz.

Un exemplu de modem elementar ar putea fi imaginat cel ce funcţionează în banda de bază, la viteza de 300b/s, în mod duplex cu două

canale, principiul semnalizării fiind deplasarea frecvenţei prin comutare, respectiv o frecvenţă pentru bit 0 şi alta pentru bit transmis 1, cu următoarele valori, conform standardului CCITT V21:

Număr canal	Bit transmis 0	Bit transmis 1
1	1180Hz	980Hz
2	1850Hz	1650Hz

Semnalele de interfaţă necesare pentru cuplarea unui terminal cu acest modem ar fi următorul subset al semnalelor prevăzute de standardul CCITT V21:

Număr	Denumire	Sursa	Funcţie
105	RTS - Request To Send	Terminal	Indică modemului să transmită pe linie purtătoarea
106	CTS - Clear To Send	Modem	Răspuns (achitare) la semnalul 105
107	DSR - Data Set Ready	Modem	Răspuns (achitare) la semnalul 108
108	DTR - Data Terminal Ready	Terminal	Comandă modemului conectarea la linie
109	DCD - Data Carrier Detect	Modem	Recepţionare semnal purtătoare
125	Ring Indicator	Modem	Recepţionare curent de apel

Tabelul 7.5 Semnale de interfaţă pentru cuplarea unui modem

Fie o transmisie între un terminal, notat **T** şi un calculator **C**, prin intermediul a două modemuri, unul conectat la terminal, notat **MT** şi respectiv **MC**, modemul conectat la calculatorul **C**. Presupunem că de la terminal se iniţiază conexiunea, iar calculatorul va transmite datele. Scenariul va fi următorul:

1. Stabilirea conexiunii

- de la telefonul la care este cuplat **MT** se formează numărul de apel al telefonului la care este cuplat **MC**;
- modemul **MC** detectează curentul de apel şi activează semnalul 'Ring Indicator';
- calculatorul **C** este pregătit pentru o eventuală conexiune, de aceea are semnalul 'DTR' activat, lucru ce duce la întreruperea curentului de apel;
- dacă modemul **MC** este pregătit, activează semnalul 'DSR', ca răspuns la comanda 'DTR';
- calculatorul poate iniţia transmisia datelor, deci va activa către **MC** semnalul 'RTS';
- modemul calculatorului va transmite pe linia telefonică purtătoarea, iar apoi generează 'CTS', ca răspuns (achitare) pentru 'RTS';
- la celălalt capăt al conexiunii, către terminalul **T**, modemul **MT** va detecta purtătoarea şi va activa semnalul 'DCD';

- se trece modemul **MT** pe "date", o acțiune ce are rolul unui semnal 'DTR' de la terminalul **T**, ce va duce la conectarea modemului la linie și activarea răspunsului 'DSR', în acest moment primul canal de comunicare fiind deschis.

În mod analog, prin activarea de la modemul **MT** a semnalului 'CTS', se va deschide al doilea canal.

2. Transmisia datelor

- se face utilizând doar liniile de transmisie și recepție date.

3. Deconectarea

- de la oricare capăt al conexiunii, prin suprimarea semnalelor 'RTS' și 'DTR', ce va duce la dezactivarea semnalului de modem 'DSR' și apoi la suprimarea purtătoarei de pe linie.

Modemurile de viteză mică sunt adecvate aplicațiilor care necesită comunicații în mod conversațional sau transfer de fișiere mici. Transferul continuu la viteză maximă de 300 bps este de 30 caractere pe secundă.

Majoritatea modemurilor de viteză medie operează la 1200 sau 2400 bps. Aceste modemuri ating viteze mai mari prin folosirea unor tehnici mai sofisticate de transmitere a semnalelor (modularea în fază și amplitudine). Modemurile de 1200 bps se conformează standardului CCITT V.22 care este similar cu Bell 212A, dar frecvența purtătoarei pentru modularea celor două canale diferă. Deci, modemurile V.22 și Bell 212A nu sunt compatibile. Cele de 2400 bps implementează standardul V.22bis. Nu există un standard Bell pentru această viteză. V.22 este un standard pentru 2 fire, full duplex, pe linie comutată. Pentru a putea include două canale de 2400 bps, lărgimea de bandă telefonică fiind de 3.000 Hz, datele sunt codificate înaintea transmisiei, astfel că semnalele se transmit pe linie de 600 bauds.

CCITT a definit caracteristicile modemurilor de viteză mare (începând cu viteza de 9.600bps), prin recomandările CCITT V.29 și V.32. Standardele V.32 bis și V.33 stabilesc specificațiile pentru 14.400 bps. Ele descriu o familie de modemuri full-duplex pe două fire, pe linii telefonice comutate. Principalele caracteristici ale acestei familii de modemuri sunt următoarele:

- operează full-duplex pe liniile telefonice comutate și pe liniile telefonice pe două fire punct la punct, închiriate;
- folosesc modularea în amplitudine și frecvență pentru fiecare canal cu transmisie sincronă la 2400 bauds;
- permit orice combinație de viteze ale semnalelor de date: 9600 bps, 4800 bps, 2400 bps;

- folosesc două scheme de modulație, una cu 16 stări purtătoare și una de codificare extinsă cu 32 stări;
- suportă mai multe moduri de operare: 9600 bps sincron și asincron, respectiv 4800 bps sincron și asincron.

Un alt criteriu de clasificare a modemurilor este nivelul de inteligență. Pe măsură ce descresc prețurile memoriilor și procesoarelor, cresc puterea și flexibilitatea modemurilor. Aceasta a fost tendința ultimilor ani și probabil că așa va fi și în viitor.

Modemul inteligent

Standardul RS 232-C prevede linii separate pentru date și pentru fiecare comandă (funcție) pe care DTE o poate emite sau recepționa. Acest mod "clasic" de interacțiune contrastează cu alte convenții, care permit comunicarea comenzilor și informațiilor de stare prin caractere (de control) reprezentate în modul ASCII. Astfel de convenții au fost adoptate în unele modemuri considerate inteligente datorită funcțiilor extinse și modului evoluat de comunicare, dintre care cele produse de **Hayes Microcomputer Products** au devenit un standard "de facto" pentru microcalculatoarele personale (are sens noțiunea "compatibile Hayes"). Cablul de conectare la un astfel de modem se reduce la trei linii: TD, RD și masa (electrică).

În funcționarea sa modemul se poate găsi într-una din următoarele stări:

- **de comandă (locală)**
  Atunci când primește comenzi de la calculator și trimite răspunsuri de stare acestuia (pe liniile TD și RD); modemul primește instrucțiuni de la calculator - adică datele trimise de la calculator sunt interpretate ca instrucțiuni/comenzi. Aceste comenzi se pot trimite la modem prin orice soft de comunicație. Dacă nu se specifică altfel, comenzile se trimit cu 7 biți de date și 1 bit paritate sau 8 biți de date fără bit de paritate și folosind un 1 bit de stop.
- **în linie, conectat** (*on-line*)
  Atunci când modemul, aflat în legătură cu un alt modem, transferă date pe liniile TD și RD. Datele primite de la calculator sunt transmise pe linia telefonică la modemul de la distanță. Din starea on-line se revine în starea locală dacă se întrerupe legătura (pierdere purtătoare), sau printre datele transmise apare comanda "escape" (care implicit este secvența '+++') .
- **suspendată** (*Hang-Up* sau *Carrier Wait*)
  Atunci când funcționează doar circuitul RI; în această stare,

modemul nu recunoaşte comenzi şi nu transferă date; starea este controlată de circuitul DTR, instalându-se atunci când DTR se dezactivează în timpul unei legături; reactivarea circuitului DTR este condiţia necesară restabilirii legăturii.

Controlul modemurilor compatibile Hayes

Modemul este controlat de calculator prin secvenţe de comandă de forma:

AT *comanda* **<CR>**

unde:

AT (attention)	este simbolul de introducere al secvenţei de comandă;
comanda	constă dintr-o literă, eventual completată cu un parametru numeric.

Modemul aşteaptă un timp (circa 250 msec) între primirea comenzii şi furnizarea răspunsului. Această întârziere este importantă, deoarece permite utilizatorului să facă diferenţierea între **ecoul** comenzii, transmis imediat, şi răspuns. Răspunsurile sunt date fie printr-un cod numeric (forma scurtă), fie printr-un şir de caractere (forma lungă), aşa cum se arată mai jos:

Răspuns		Semnificaţie
scurt	**lung**	
0	OK	succes
1	CONNECT	s-a detectat purtătoarea
2	RING	semnal de apel prezent pe linie
3	NO CARRIER	purtătoare absentă
4	ERROR	eroare

Tabelul 7.6 Codificarea răspunsurilor

Modemul are memorie tampon, pentru păstrarea mai multor comenzi transmise de calculator şi registre pentru codurile diverselor caractere (cum ar fi <ESC>,<CR>), selectabile prin program. Selecţia se face pentru frecvenţele utilizate sau pentru diferite intervale de timp caracteristice funcţionării.

Se prezintă succint principalele comenzi, făcându-se o grupare a lor pe categorii. Pentru a înţelege semnificaţiile comenzilor de conectare la linie, e important de precizat următoarele:

- în conexiunea duplex, cele două modemuri care comunică folosesc subcanale diferite pentru transmisie; ele sunt denumite **iniţiator** (*originate*) şi **de răspuns** (*answer*), după rolul fiecărui modem în stabilirea legăturii telefonice;

- majoritatea modemurilor au circuite de apel (formare a numărului) şi de răspuns automat; apelul se poate face prin impulsuri (cum sunt cele generate de discurile aparatelor telefonice) sau printr-un ton caracteristic.

Comenzi referitoare la dialogul cu terminalul

En controlează ecoul (*echo*):
- **E0** suprimă ecoul;
- **E1** îl activează.

Qn controlează răspunsul modemului la comenzile primite:
- **Q0** determină transmiterea stării (*enable*);
- **Q1** o suprimă (*inhibit*).

Mn controlează difuzorul:
- **M0** îl suprimă;
- **M1** determină activarea semnalului sonor până la stabilirea legăturii;
- **M2** îl activează permanent.

Vn determină formatul răspunsului:
- **V0** selectează codurile numerice;
- **V1** selecteaza forma lungă a răspunsurilor.

Comenzi de conectare la linie

A comută linia telefonică, din modul "voce" la modul "date", în care modemul transmite purtătoarea de răspuns şi aşteaptă recepţia purtătoarei iniţiatoare de la un alt modem (*answer call*);

Hn controlează tonul telefonului, ca echivalent electronic al manevrării receptorului (*hang-up*):
- **H0** "pune" telefonul în furcă, tonul fiind absent;
- **H1** activează tonul; valoarea 2 este folosită pentru aplicaţii speciale.

Dchar-string
are ca efect aşteptarea tonului, selecţia purtătoarei iniţiatoare, formarea numărului (*dial*) reprezentat prin şirul **char-string** şi aşteptarea purtătoarei de răspuns transmisă de postul apelat.

Un exemplu de comandă ar fi:

ATDP 134
formează numărul de telefon (la disc) 134 şi rămâne în starea locală.

ATDP 0 W 134565 O
formează 0, aşteaptă un ton (de ieşire), formează numărul 134565 şi intră în mod on-line.

P comandă modemul să folosească impulsuri (de disc) la formarea numărului.

T comandă modemul să folosească tonuri specifice la formarea numărului; introduce o pauză în operaţia de formare a numărului; utilizată cu comanda D, provoacă revenirea modemului în starea de comandă, fără a aştepta tonul de răspuns.

R după formarea numărului, foloseşte tonuri de răspuns (pentru comunicarea cu modemuri care nu-şi pot modifica tonul pentru răspuns şi sunt numai de origine).

Comenzi diverse

Fn alege modul de operare semiduplex (F0) sau duplex (F1).
O readuce modemul din starea "on line" în starea de comandă.
Z reiniţializează modemul (reset).

Cn comandă purtătoarea:

C0 încetează transmiterea purtătoarei.
C1 determină controlul purtătoarei de către modem.

7.1.4. Tehnologii de acces digitale

Spre deosebire de comutarea circuitelor, care a stat la baza transmisiei prin intermediul liniilor telefonice comutate, transmisia bazată pe **comutarea pachetelor** asigură o mai bună utilizare a canalelor de transmisie. Această nouă formă de comutare este realizabilă doar pe baza transmisiei digitale (numerice). Aceasta a dus la treptata înlocuire a canalelor directe analogice cu cele digitale, legăturile între centralele telefonice fiind realizate prin tronsoane (trunchiuri) digitale de înaltă viteză, folosind tehnica de transmisie prin divizarea timpului **TDM** (*Time Division Multiplexing*). Se prezintă în continuare principalele caracteristici aferente nivelului fizic pentru cele mai importante tehnologii digitale (transmisiile cu cadre, transmisiile pe fibră optică, reţele ISDN şi ATM).

Modemul pentru cablu TV (*cable modem)*

Deoarece reţeaua de cablu TV are mulţi utilizatori, o modalitate de conectare a acestora la Internet ar fi utilizarea unui tip de modem pentru cablu

TV. Aceasta tehnologie permite un acces continuu la Internet, in paralel cu programele TV. Astfel se poate considera că accesul la Internet este un canal suplimentar, oferit in paralel cu cele TV tradiţionale.

Modemurile pentru cablu coaxial TV sunt similare cu modemurile analogice in banda de bază, dar mult mai rapide, permiţând transmisii cu viteze de ordinul zecilor de Mbps (viteza uzuală a unui utilizator este de 1,5Mbps, asta deoarece conectarea mai multor utilizatori duce la diminuarea lăţimii de bandă alocate – un dezavantaj al acestei tehnologii).

Prin accesarea Internetului folosind această tehnologie, compania de cablu TV (CATV) devine şi furnizor de servicii Internet, iar astfel se poate spune că pe cablul TV există flux de date, unul de la furnizor la utilizator (*downstream data*) şi un flux de la utilizator la furnizor (*upstream*). Configurarea acestor fluxuri se face depinzând de aplicaţie, dar uzual fluxul către utilizator necesită o lăţime de bandă mai mare.

Elementele de bază ale conectării folosind modem pentru cablu TV sunt:

- cablurile de distribuţie a semnalului si cele de acces (*drop cable*); cablul de distribuţie porneşte de la un sit principal (*head-end*) ce recepţionează programele şi permite accesul la Internet;
- divizorul de semnal (*splitter*) care separă semnalul compus primit de la furnizor in semnalul TV transmis către aparatul TV (mai precis către decodorul TV sau set-top box) şi semnalul de date transmis prin intermediul modemului către calculatorul conectat la Internet.

Modemul este tot timpul într-o stare de ascultare a pachetelor ce sosesc pe un canal downstream destinat, ce lucrează uzual la viteze de megabiţi pe secundă şi va transmite informaţia pe un canal upstream destinat, operând la viteze de sute de kilobiţi.

Accesul la distanţă bazat pe modem cablu TV este o soluţie performantă, dar prezintă dezavantajul degradării largimii de bandă disponibile utilizatorului odată cu conectarea mai multor utilizatori, precum şi cel al unei vulnerabilităţi sporite a traficului de date către un utilizator (poate fi 'observat' de alţi utilizatori).

Sistemele T1 şi E1

Transmisia normală pe un canal telefonic digital necesită un flux de date de 64kbps, valoare obţinută pe baza teoremei lui Nyquist, luând în considerare reconstruirea unui semnal analogic cu banda de 4KHz (bandă în care se încadrează semnalul audio) şi reprezentarea eşantioanelor pe 8biţi. Canalele telefonice digitale se vor transmite pe trunchiurile de mare viteză, prin folosirea tehnicii de multiplexare TDM, construindu-se cadre care transportă un număr de canale vocale.

În SUA şi Japonia s-a dezvoltat **sistemul T1**, cadrul transportator fiind proiectat pentru multiplexarea a 24 de canale vocale la 64kbps (64x8=192 biţi plus un bit pentru sincronizare, adică 193 biţi transportaţi la fiecare 125μs), obţinând un

canal de transport de 1.544Mbps, dintre care 1.536Mbps sunt folosiți pentru transmisia datelor și 8kbps pentru informația de sincronizare. Informația de sincronizare (semnalizare) s-a considerat că este prea cuprinzătoare, și atunci CCITT a statuat că informația analogică de pe fiecare canal să fie codificată utilizând doar 7 biți, astfel ca fiecare canal din cadrul T1 este la 56kbps. Bitul suplimentar oferit acum de fiecare canal poate fi folosit pentru semnalizare.

În Europa se folosește un alt cadru transportator, numit **E1**, care se bazează pe transmiterea multiplexată a 32 de canale de 64kbps, obținând cadrul purtător la 2.048Mbps. Dintre cele 32 de canale, 30 sunt folosite pentru informație și două pentru semnalizare (sincronizare și control - slot-urile de timp 0 și 16).

SONET/SDH

Se pare că din punctul de vedere al standardizării, cele mai mari reușite prevăd ca nivel fizic pentru transmisia pe fibră optică standardul **SONET** (*Synchronous Optical NETwork*).

Un sistem SONET folosește modul de transmisie sincron (STM) și constă din comutatoare, multiplexoare și repetoare, legate prin fibră optică, arhitectura SONET fiind de fapt o secvență de secțiuni ce interconectează echipamente vecine. Cadrul de bază SONET este un bloc de 810 octeți, transmiși la fiecare 125 μs; astfel se obține canalul de bază SONET, numit STS-1 (*Synchronous Transport Signal-1*), cu o rată de transport de 51.84Mbps, toate trunchiurile SONET fiind multiple de STS-1.

Standardul specifică transmisiile pentru o legătură SONET la 155.5Mbps, la 622Mbps sau la 2.4Gbps, etc., prin definirea ierarhiei de multiplexare de STS-1 la STS-48.

Strâns legat de specificația pentru SONET, s-a răspândit termenul **SDH** (*Synchronous Digital Hierarchy*), standardizându-se transmisiile începând de la rata de 155.52Mbps, continuând cu transmisiile la rate mai mari, multiplu de această viteză.

ISDN

La mijlocul anilor '80 a demarat proiectul de construire a unui nou sistem telefonic cu circuite comutate, complet digital, numit **ISDN** (*Integrated Services Digital Network*), care să permită transmisia integrată de servicii vocale și non-vocale.

Rețeaua ISDN este definită ca o rețea ce permite o conectivitate digitală capăt la capăt și oferă o gamă largă de servicii, incluzând voce sau video, servicii la care utilizatorii au acces printr-un set limitat de interfețe standard. Una din aceste interfețe standard a fost definită mai întâi și denumită **acces de bază** (*base access*), fiind concepută pentru utilizatorul final și conținând două canale de date **B** (de bază) de 64kbps fiecare, și un canal **D** (16kbps) pentru semnalizări. S-a dezvoltat apoi alt

tip de interfață, numit **acces primar** (*primary rate access*), conceput pentru deținătorii de centrale telefonice digitale și prevăzând o rată mai generoasă de date prin alocarea de canale **H**, de mare viteză (megabiți pe secundă).

Tabelele următoare prezintă tipuri de canale ISDN și structuri de interfețe ISDN:

Canal	Rata de bit	Interfață
B	64kbps	basic access
H0	384kbps	Primary rate access
H11	1536kbps	Primary rate access
H12	1920kbps	Primary rate access
D16	16kbps	basic access
D64	64kbps	Primary rate access

Tabelul 7.7 Tipuri de canale ISDN

Interfața	Rata de bit	Structura interfeței
Basic access	192 kbps	2B+D16
Primary rate access	1544 kbps	23B+D64
		3H0+D64
		H11
	2048 kbps	30B+D64
		5H0+D64
		H12+D64

Tabelul 7.8 Tipuri de interfețe

Deoarece **Narrow-ISDN** (ISDN de bandă îngustă, pentru că se bazează pe canale de 64kbps), nu poate satisface cerințele actuale, prin folosirea canalelor de mare viteză H se ating vitezele de ordinul mega și zecilor de mega biți/s, și deci a apărut firesc ISDN în bandă largă, numit **B-ISDN** (*Broadband-ISDN*). El se definește ca acel sistem care prevede canale cu viteze superioare ratei primare, prevăzând un transport al pachetelor cu dimensiune fixă (celule), de la sursă la destinație, cu o viteză de 155Mbps.

Recomandările ITU definesc sintetic posibilitățile B-ISDN:

> *"B-ISDN prevede conexiuni comutate, permanente sau semi-permanente, punct la punct sau punct-multipunct și asigură servicii rezervate sau permanente. Conexiunile B-ISDN prevăd servicii cu comutare de pachete sau de circuite, de tip mono sau multi media, în configurații uni sau bi-direcționale, orientate sau nu pe conexiune."*

ATM

Aplicațiile viitoare în domeniul comunicației prin intermediul rețelelor de calculatoare vor necesita o mai mare lățime de bandă și vor genera un amestec heterogen de trafic de date. Astfel, se va dori transmiterea pe același cablu (de fibră optică probabil), sub forma unui semnal integrat, la viteze de ordinul Giga biți/sec., a traficului de timp real (voce sau video de mare rezoluție), trafic ce suportă pierderi mici de informație dar nu întârzieri, cu trafic obișnuit pentru date (transfer de fișiere, acces la baze de date), trafic ce suportă o anumită întârziere, dar nu admite pierderea de informație. Rețelele actuale nu pot susține această gamă de transport a unei diversități de trafic având cerințe specifice. **ATM** (*Asynchronous Transfer Mode*) se dovedește o tehnică potențial capabilă să suporte o varietate de clase de trafic (voce, video, date) într-o singură transmisie emisă printr-o tehnologie bazată pe structuri de comutare (*switching fabric*). Tehnologia ATM promite o bună integrare a posibilităților și serviciilor, un acces la rețea crescut și mai flexibil.

O introducere în tehnologia ATM este prezentată de capitolul 9.

Modemul DSL (*Digital Subscriber Line*)

Legătura dintre abonat si furnizorul de servicii telefonice (legătura de acasă la oficiul central telefonic), numită original *local loop* există instalată în majoritatea locuințelor, în principal fiind realizată cu perechi de fire răsucite. Inițial poiectate pentru canale de transmisii voce, canalul pentru voce necesitând o lărgime de bandă de doar 4KHz, prin folosirea tehnologiei DSL (modemului DSL), pe cablul UTP deja instalat se pot obține viteze de transmisie de până la 1MHz. Elementul de bază al tehnologiei DSL este modemul DSL, numit și ruter DSL, care permite transferul simultan de voce și date pe aceeași legătură TP. La celălalt capăt al liniei se găsește un dispozitiv de multiplexare a accesului (DSLAM), deținut de furnizorul de servicii și instalat in oficiul central.

Cea mai cunoscută variantă DSL este cea asimetrică: ADSL, proiectată inițial pentru servicii de video la cerere, dar acum utilizată pentru accesul Internet.

Se numește asimetrică deoarece, din perspectiva utilizatorului, fluxul de date către utilizator este mult mai consistent decât cel de la utilizator către ISP (*Internet Service Provider*).

Cea mai simplă posibilitate de a utiliza banda de 1MHz oferită de cablul UTP este de a aloca frecvențe din banda 0-25KHz pentru transmiterea vocii (4KHy pentru voce, restul pentru benzi de gardă, evitând interferențele), iar restul de bandă pentru transmisia de date, alocând în mod flexibil banda pentru upstream și respectiv downstream.

Transmisia digitală simultană în ambele direcții pe o singură linie și flexibilitatea alocării benzilor de frecvențe este dată de utilizarea tehnicii de eliminare a ecoului, respectiv transmițătorul va extrage ecoul propriei transmisii din

semnalul recepționat, astfel refăcând semnalul transmis de cealaltă parte.

Performanța transmisiei este mărită prin folosirea unor tehnici specifice de codare pe linie, cum ar fi DMT (*Discrete Multitone*), bazată pe divizarea benzii disponibile în subcanale, fiecare subcanal fiind folosit pentru transmiterea unei cantități de date.

Tehnologia xDSL prezintă avantajul că performanța nu se diminuează odată cu creșterea numărului de utilizatori conectați la un oficiu, dar ea poate suferi din cauza lungimii buclei locale.

Recentele imbunătățiri ale tehnologiei xDSL sunt:

HDSL (*High data rate DSL*)
SDSL (Single line DSL)
VDSL (*Very high data rate DSL*)

Tabelul următor prezintă principalele lor caracteristici.

	ADSL	HDSL	SDSL	VDSL
Bits/sec	1.5-9Mbps-down 16-640kbps-up	1.544Mbps 2.048Mbps	1.544Mbps 2.048Mbps	13-52Mbps-down 1.5-2.3Mbps-up
Mod	Asimetric	Simetric	Simetric	Asimetric
Număr perechi TP	1	2	1	1
Distanță maximă	3.5-5.5km	3.7km	3km	1.4km
Semnalizarea	Analog	Digital	Digital	Analog
Codare	DMT	2B1Q	2B1Q	DMT
Banda	1-5MHz	196kHz	196kHz	10MHz

Tabelul 7.9 Principalele tehnologii xDSL

7.2. Protocoale ale nivelului Legăturii de date în rețelele geografice

Protocoalele aferente nivelului **Legăturii de date** care sunt studiate aici se leagă de problematica generală a interconectării rețelelor, dar prezintă și aspecte specifice conectării rețelelor locale la rețelele geografice.

Protocoalele folosite la nivelul **Legăturii de date** sunt descendente ale protocolului **SDLC** (*Synchronous Data Link Control*), introdus de **IBM** odată cu arhitectura SNA; cele mai importante protocoale folosite practic sunt: **HDLC** (*High Level Data Link Control* - protocolul propus de arhitectura ISO OSI), din care derivă proceduri specifice, precum **LAPB** (*Link Access Procedure Balanced*), **LAPD** (*Link Access Procedure D-channel* - folosită de ISDN), **LAPF** (*Link Access Procedure to Frame mode bearer services* - legată de serviciile bazate pe Frame

Relay) şi desigur protocolul **LLC** (*Logical Link Control* - prezentat la capitolul despre standardele 802.x).

7.2.1. Protocolul HDLC

Protocolul **HDLC** (*High Level Data Link Control*) este protocolul propus de CCITT pentru adoptare în cadrul arhitecturii ISO OSI. Proiectat iniţial pentru comunicaţii sincrone, adaptat apoi şi pentru linii asincrone, HDLC şi variantele sale sunt cele mai folosite protocoale ale nivelului **Legăturii de date** ale reţelelor de mare întindere **WAN** (reţelele geografice).

Ca orice protocol al acestui nivel arhitectural, el încearcă rezolvarea principalelor probleme, prezentând următoarele caracteristici:

- sincronizarea se face la nivel de bit;
- gestionează cadrele, evitând pierderea, alterarea sau duplicarea lor;
- descoperă erori grave ale legăturii (noduri inoperante, întrerupere legătură), raportându-le nivelului superior;
- funcţionează pentru legături lungi sau scurte, în topologie punct la punct sau multipunct.

Prin protocolul HDLC se conectează două sau mai multe staţii. Conexiunea (legătura de date) poate fi **echilibrată** (*balanced*) sau **neechilibrată** (*unbalanced*). Legătura echilibrată se foloseşte în conexiunile punct-la-punct, între două staţii echivalente (*combined stations*). Protocolul este full-duplex, deci fiecare staţie poate transmite oricând, indiferent de activitatea celeilalte staţii. Într-o conexiune neechilibrată, există întotdeauna o staţie primară (*master*), care controlează legătura şi una sau mai multe staţii secundare (*slave*), ce răspund staţiei primare; protocolul este acum half-duplex.

Protocolul HDLC este orientat pe bit, nu pe caracter, iar mesajele sunt înscrise într-un cadru standardizat. Orientarea pe bit permite transmisia oricăror informaţii binare, cum sunt cele legate de transmisia de voce, imagini sau programe executabile. Adresa permite legături de tip punct-punct şi punct-multipunct, cu recunoaşterea automată a adresei destinaţie. Pentru asigurarea transparenţei de cod, informaţia ce nu trebuie interpretată ca informaţie de control este marcată, prin utilizarea metodei adăugării de biţi (*bit stuffing*). Astfel secvenţa de biţi 01111110 este utilizată pentru sincronizare, constituind preambulul şi postambulul cadrului HDLC (câmpul **Flag**); dacă în câmpul **Info**, ce cuprinde datele propriu-zise, se detectează această secvenţă, pentru a nu fi interpretată ca secvenţă de control, se inserează automat la emiţător un bit 0 după secvenţa de cinci biţi consecutivi 1, la recepţie bitul suplimentar fiind eliminat. Pentru controlul erorii, protocolul HDLC foloseşte controlul ciclic redundant **CRC** (*Cyclic Redundancy Check*), utilizând polinoame de control de grad 16 sau 32.

Pentru achitarea transmisiei se foloseşte procedeul **piggybacking**, ce prevede încapsularea informaţiei de achitare într-un cadru de date, şi nu transmiterea ei ca un cadru separat.

Cadrele HDLC sunt de trei tipuri:

- cadre pentru transportul informaţiei, cadre **I** (*Information-frame*);
- cadre pentru supervizarea transferului, cadre **S** (*Supervisory-frame*);
- cadre pentru funcţii de control suplimentare (iniţializare, diagnostic) şi transport de date în modalitate neconexă, numite cadre fără câmpuri 'numărătoare', cadre **U** (*Unnumbered-frame*).

Cadrul general HDLC are forma:

Biţi	8	8	8		6/32	8
	Flag	Address	Control	Info	FCS	Flag

Figura 7.3 Structura cadrului general HDLC

Flag este câmpul preambul şi câmpul postambul (de 8 biţi fiecare), având formatul **01111110**.

Address indică adresa destinatarului; are uzual 8 biţi, dar pot fi folosite extensii de adresă.

Control este octetul de control.

FCS este câmpul de 16 biţi (sau de 32 biţi), ce conţine secvenţa de control a erorii pentru acel cadru (*Frame Control Sequence*); se obţine prin aplicarea unui polinom de control CRC de grad 16 sau de grad 32.

Câmpul de control are una din formele:

0	N(S)		P/F	N(R)	comandă/răspuns pentru transfer de informaţie (cadru I),
1	0	S	P/F	N(R)	comenzi/răspunsuri de supervizare (cadru S),
1	1	M	P/F	M	comenzi/răspunsuri nenumerotate (cadru U),

unde:

N(S) câmp de trei biţi reprezentând numărul de ordine la emisie;

N(R) câmp de trei biţi reprezentând numărul de ordine la recepţie; constituie informaţia de achitare (ACK) pentru cadrele de informaţie ce circulă în direcţia opusă (implementare a principiului de piggybacking);

P/F bit de invitație la emisie (*Polling*), dacă este transmis de stația primară, sau bit de Final, indicând sfârșitul secvenței transmisiei, dacă este generat de stația secundară;

S câmp de doi biți de supervizare, codificând comenzile și stările:

0 0 **Receive Ready** (gata de recepție)
stația este pregătită pentru recepția informației sau achită mesaje cu număr de secvență până la N(R)-1.

0 1 **Reject** (rejectare)
stația cere transmisia/retransmisia mesajelor începând de la N(R); implicit se confirmă cele recepționate până la N(R)-1 inclusiv.

1 0 **Receive Not Ready** (receptorul nu este gata)
achită mesajele până la N(R)-1 inclusiv și arată că stația nu este temporar în măsură să mai primească alte mesaje.

1 1 **Selective Reject** (rejectare selectivă)
cere transmisia/retransmisia mesajului cu număr de secvență N(R); implicit se confirmă cele recepționate până la N(R)-1.

M în total 5 poziții binare (2 + 3) ceea ce permite realizarea a până la 32 funcții de comandă și 32 funcții de răspuns suplimentare (se permit și extinderi).

Câteva exemple de comenzi și răspunsuri:

11000 Setare mod de răspuns asincron **ARM**
(*Asynchronous Response Mode*)
În acest mod, o stație secundară poate emite din proprie inițiativă, fără a fi invitată de stația primară. Se definește un interval de timeout pentru mesajele emise; la expirarea fără achitare a intervalului se reia transmisia. Pe liniile semiduplex, intervalul de timeout trebuie să fie diferit pentru stația primară și cea secundară.

00001 Setare mod de răspuns normal **NRM**
(*Normal Response Mode*)
Stația secundară primește permisiunea emisiei doar dacă recepționează de la stația primară un mesaj cu bitul **P** setat; după aceea stația secundară poate emite mesaje, ultimul având bitul **F** setat.

11100 Setare mod de lucru asincron echilibrat **ABM**
(*Asynchronous Balanced Mode*)
Este folosită ca modalitate de lucru de către procedura LAPB, pentru legături echilibrate full-duplex între două stații combinate.

11011 Setare mod de lucru normal extins **NRME**
(*Normal Response Mode Extended*)
Inițializează o conexiune NRM cu numere de secvență N(S) și N(R) pe 7 biți; câmpul **Control** din cadrele I și S devine de 16 biți. Este folosită comanda pentru aplicații specifice (cum ar fi transmisia prin satelit, cu un timp de propagare pe legătura de date de sute de milisecunde, și unde este preferabil ca ferestrele de emisie-recepție să fie mai cuprinzătoare decât 8 cadre).

10001 Răspuns comandă recepționată corect dar rejectată
(**FRMR** - *Frame Reject*)
Câmpul de informație arată motivul rejectării.

10010 Cadru de comandă/răspuns **XID**
(*Exchange station Identification*)
Permite negocierea de parametri între stațiile unei legături (de exemplu utilizarea unui polinom CRC de 16 sau 32 biți).

Protocolul HDLC constituie baza de la care s-au dezvoltat, prin adaptări specifice, procedurile de acces la nivelul legăturii de date, pentru rețele geografice cu comutare de pachete, de viteze ridicate. Aceste proceduri se vor prezenta pe scurt odată cu prezentarea acelor tehnologii de comutare de pachete.

7.2.2. Protocolul PPP

Protocolul **PPP** (*Point-to-Point Protocol*) a fost dezvoltat de comunitatea **Internet**, pentru a se depăși un neajuns al protocolului HDLC, care nu prevede prin standard transmiterea pe același canal a pachetelor provenind de la protocoale diferite (de nivel superior). Protocolul este descris de RFC 1548 și constituie o dezvoltare a protocolului **SLIP** (*Serial Line Protocol*) dezvoltat pentru liniile seriale telefonice. Protocolul furnizează metode standard pentru transmiterea pachetelor provenind de la diverse protocoale pe legături seriale sincrone sau asincrone. Pentru realizarea acestor obiective PPP folosește familii de protocoale specifice, pentru crearea, configurarea și întreținerea legăturilor, atât la nivelul legăturii de date (protocolul **LCP** - *Link Control Protocol*), cât și pentru configurarea protocoalelor la nivel rețea (familia de protocoale **NCP** - *Network Control Protocol*). Formatul pachetului este ilustrat de figura 7.4.

Biți	8	8	8	16		16/32	8
	Flag	Address	Control	Protocol	Info	FCS	Flag

Figura 7.4 Structura pachetului PPP

Diferența principală față de protocolul HDLC constă în prezența unui câmp nou, numit **Protocol**, care codifică protocolul de nivel superior al cărui unitate de date (**PDU** - *Protocol Data Unit*) este conținut în câmpul de date al cadrului PPP. Sunt codificate astfel majoritatea protocoalelor de nivel rețea (**IP, Novell IPX, OSI Network Layer, Banyan Vines Control Protocol, Appletalk Control Protocol**, etc.). De asemenea se prevede posibilitatea difuzării cadrelor, câmpul de adresă conținând în acest caz secvența 11111111. Câmpul de date poate avea lungimi de până la 1.500 octeți.

7.2.3. Principalele tehnologii de transmisie bazate pe comutarea pachetelor

Tehnologia bazată pe comutarea de pachete este poate cea mai folosită pentru realizarea rețelelor geografice. Se prezintă principalele realizări, cu precădere tehnologia X.25, iar sintetic și comparativ tehnologiile Frame Relay, SMDS și ATM.

7.2.3.1. Protocolul X.25

Rețelele cu comutare de pachete X.25 sunt utilizate îndeosebi în Europa, protocolul fiind definit de CCITT cu peste 20 ani în urmă. Protocolul X.25 descrie interfața între un echipament terminal de date DTE și un echipament DCE-X.25 (un modem, de exemplu) pentru operarea în mod pachet și conectarea la o rețea publică de date prin circuite dedicate. De remarcat că protocolul nu descrie rețeaua ca atare, ci modul de conectare a echipamentelor DTE - DCE pentru operarea în rețea. Cum se vede din figura 7.5, rețeaua X.25 este realizată cu ajutorul unor echipamente comutatoare, numite fie **DSE** (*Data Switching Equipment*), fie **PSE** (*Packet Switching Exchange*). Pe rețele X.25 se folosesc viteze între 1200bps și 64Kbps.

Figura 7.5 Structura unei rețele X.25

Protocolul X.25 descrie trei nivele ale arhitecturii OSI:

- nivelul 1 se supune în primul rând standardului la nivel **Fizic** X.21 pentru transmisia sincronă;
- nivelul **Legăturii de date** urmărește protocolul HDLC, procedura LAPB;
- al treilea nivel arhitectural al protocolului (numit **PLP** - *Packet Level Protocol*), gestionează conexiunile între două terminale, conexiuni stabilite prin rețeaua de comunicație. Conexiunile pot fi permanente prin stabilirea circuitelor virtuale permanente (**PVC** - *Permanent Virtual Circuit*), sau comutate, prin realizarea apelurilor virtuale (**SVC** - *Switched Virtual Circuit*). Nivelul trei arhitectural poate multiplexa o legătură de date, creând mai multe canale logice. Nivelul 3 este conform standardului ISO 8208 și definește procedurile pentru generarea circuitelor virtuale și corecta transmitere a datelor utilizator.

Pentru a se folosi și în cazul retelelor rapide și sigure, protocolul prevede un serviciu rapid, neorientat pe conexiune. Serviciul orientat pe datagramă este realizat prin utilizarea unei opțiuni de selecție rapidă (*fast select*), opțiune ce apare în cadrul pachetului 'call request' și care permite generarea unor pachete de tip datagramă, cu lungimea de 128 octeți.

Alte facilități oferite de X.25 includ:

- transmiterea cu prioritate a unui pachet scurt, de 32 octeți (pachetul '*interrupt*' și perechea sa '*interrupt confirmation*');
- transmiterea unor confirmări separate (pachetele '*receive ready*' sau '*receive not ready*');
- reinițializarea unui circuit virtual (pachetul '*reset*') sau a tuturor circuitelor virtuale ale unui terminal DTE (pachetul '*restart*');
- transmiterea unor pachete de diagnostic (pachetul '*diagnostic*'), pentru a anunța utilizatorul despre erori ce nu pot fi recuperate la nivelul **Rețea**.

Pachetul aferent nivelului trei al protocolului X.25 (nivelul PLP) este înglobat în pachetul LAPB (cadrul aferent nivelului doi al protocolului) și are în antetul său următoarele trei câmpuri principale:

- identificatorul de format general **GFI**;
- identificatorul canalului logic **LCI**;
- identificatorul tipului de pachet **PTI**.

Circuitele virtuale sunt identificate prin valoare proprie **LCI**, acest identificator fiind asignat dinamic pe baza adresei DTE, în cazul circuitelor virtuale comutate SVC, respectiv asignate permanent de către administratorul de rețea în cazul circuitelor permanente PVC.

O imagine sintetică a tipurilor de pachete X.25 este prezentată de tabelul 7.9, structurat după tipul serviciilor.

Sursa pachetului		Tip serviciu		
DTE	DCE	CV	AP	D
call request	incoming call	*		
call accepted	call connected	*		
clear request	clear indication	*		
clear confirmation	clear confirmation	*		
Data	data	*	*	
Interrupt	interrupt	*	*	
interrupt confirmation	interrupt confirmation	*	*	
Datagrama	datagrama			*
	datagrama service signal			*
receive ready	receive ready	*	*	*
receive not ready	receive not ready	*	*	*
reset request	reset indication	*	*	*
reset confirmation	reset confirmation	*	*	*
restart request	restart indication	*	*	*
restart confirmation	restart confirmation	*	*	*
	diagnostic	*	*	*

Tabelul 7.10 Tipuri de pachete X.25

Dacă protocolul X.25 este folosit pentru realizarea primitivelor de serviciu pentru nivelul OSI **Rețea**, o corespondență posibilă între primitivele de serviciu și transmisia sau recepția unui pachet X.25 este ilustrată de tabelul 7.10.

Primitiva de serviciu ISO 8878	Actiunea X.25
N_Connect.request	send *call request* packet
N_Connect.indication	receive *call request* packet
N_Connect.response	send *call accepted* packet
N_Connect.confirmation	receive *call connected* packet
N_Disconnect.request	send *clear request* packet
N_Disconnect.indication	receive *clear indication* packet
N_Data.request	send *data* packet
N_Data.indication	receive *data* packet
N_Reset.request	send *reset request* packet
N_Reset.indication	receive *reset indication* packet
N_Expedited.request	send *interrupt* packet
N_Expedited.indication	receive *interrupt* packet

Tabelul 7.11 Primitive de serviciu-acțiuni X.25

Interconectarea rețelelor cu comutare de pachete și a celor cu comutare de circuite este reglementată de avizul X.32 al CCITT; acesta precizează următoarele reglementări importante:

- pentru nivelul **Fizic** sunt acceptate standardele X.21 și X.21bis, iar pentru apelul și răspunsul automat recomandările V.25 și V.25bis;
- pentru **Legătura de date** sunt acceptate procedurile protocolului HDLC pentru modul de lucru echilibrat sau modul semiduplex;
- procedura de identificare și autentificare a utilizatorului se poate baza pe transmiterea unui cadru XID sau a unui pachet de apel cu identificatorul utilizatorului, precum și pe algoritmi de protecție.

Adresele folosite de X.25 servesc activării SVC; ele sunt adrese DTE și se supun standardului CCITT X.121. Acest standard propune o schemă de adresare universală, în care fiecare DTE este individualizat printr-un **IDN** (*International Data Number*).

IDN este compus din două părți:

- **DNIC** (*Data Network Identification Code*), care se formează pe baza câmpurilor **Country** (identifică țara) și **PSN** (*Packet Switched Network*), care identifică rețeaua X.25;
- **NTN** (*Network Terminal Number*), ce identifică un DTE în cadrul rețelei.

Fiecare utilizator este identificat apoi printr-un **NUA** (*Network User Address*), al cărui format depinde de administrația rețelei naționale

Un câmp important al pachetului 'call request' este **CUD** (*Call User Data*) și el permite ca X.25 să ofere un suport multiprotocol. Prin analiza acestui câmp, încă din faza de creare a circuitului comutat SVC se cunoaște cărui protocol de nivel trei (X.25-PLP, IP) îi aparține pachetul ce tranzitează acel circuit.

Anumite terminale, cele orientate pe lucrul cu caractere, nu au posibilitatea conectării directe în rețea X.25, unde orientarea este pe pachet; pentru aceste terminale conversiile necesare accesului la rețea X.25 sunt realizate de comutatoarele de acces la rețea, prin implementarea unor funcții de asamblare/dezasamblare a pachetelor (**PAD** - *Packet Assembling Disassembling*). Funcționarea PAD este reglementată prin trei avize CCITT, și anume (ilustrate și de figura 7.6):

- avizul **X.28**, care descrie protocolul între un terminal orientat pe caractere și PAD, pentru transferul de date și comenzi;
- avizul **X.29**, care descrie protocolul conversațional între un echipament PAD și un terminal orientat pe pachete, compatibil X.25;
- avizul **X.3**, care defineste funcțiile echipamentului PAD.

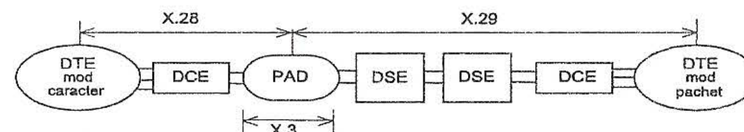


Figura 7.6 Standarde pentru stații PAD

7.2.3.2. Rețea Frame relay

Frame relay este un standard similar lui X.25, adaptat însă pentru linii de transmisie rapide și sigure; standardul definește o interfață DTE-DCE care permite stabilirea mai multor circuite virtuale pe o aceeași linie de transmisie. Figura 7.9 ilustrează o rețea Frame Relay, prin punerea în evidență a circuitelor virtuale, care sunt permanente și sunt generate de administratorul de rețea.

La nivelul **Legăturii de date**, rețelele Frame Relay folosesc o procedură proprie, numită **LAPF** (*Link Access Procedure to Frame mode bearer services*), bazată pe standardul CCITT Q921 (care definește LAPD).

Procedura LAPF este subdivizată în două părți: **DL-Core** (partea de nucleu) și **DL-Control**.

Formatul pachetului frame-relay (asemănător HDLC) este ilustrat de figura 7.7, iar câmpurile evidențiate sunt ignorate de subprocedura DL-Core.

Flag	Address	Control	Info	FCS	Flag

Figura 7.7 Structura pachetului Frame relay

Câmpul **Address** este extensibil și conține mai multe subcâmpuri, unele având rol de control al congestiei în rețea; cel mai important subcâmp al său este însă **DLCI** (*Data Link Connection Identifier*), identificând circuitul logic.

O extensie importantă a protocolului este oferită de introducerea unui cadru de gestionare, cadrul **LMI** (*Local Management Interface*), purtând informații despre starea rețelei, utile fiecărui nod Frame Relay și care permite în plus adresarea globală și deci difuzarea cadrelor (*multicasting*). Formatul cadrului este dat de figura 7.8.

Flag	LMI DLCI	UI	Protocol Discriminator	Call Reference	Message Type	IE	FCS	Flag

Figura 7.8 Format cadru LMI

Rețeaua Frame Relay se realizează pe baza comutatoarelor Frame Relay, mai numite **noduri core** (ele implementează doar subprotocolul DL-Core), care realizează dirijarea mesajelor pe baza câmpului DLCI.

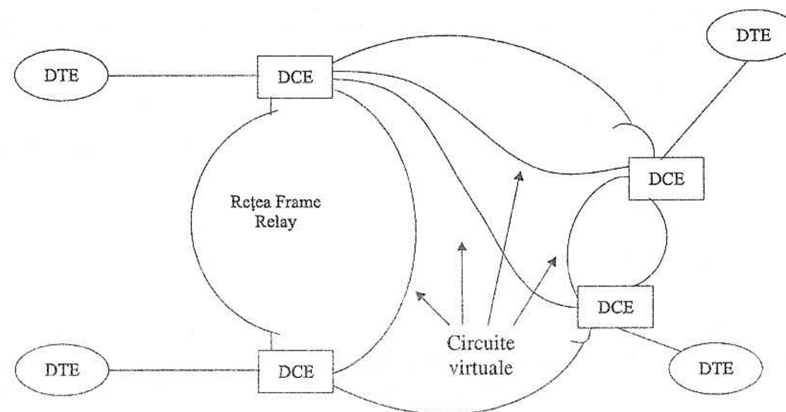


Figura 7.9 Structura rețelei Frame relay

7.2.3.3. Rețele SMDS

Tehnologia de realizare a rețelelor cu comutare de pachete **SMDS** (*Switched Multi-megabit Data Service*), dezvoltată îndeosebi în SUA, oferă viteze între 2 și 34Mbps, fiind foarte folosită pentru interconectarea de rețele locale prin intermediul router-elor. Figura 7.10 prezintă un astfel de exemplu.

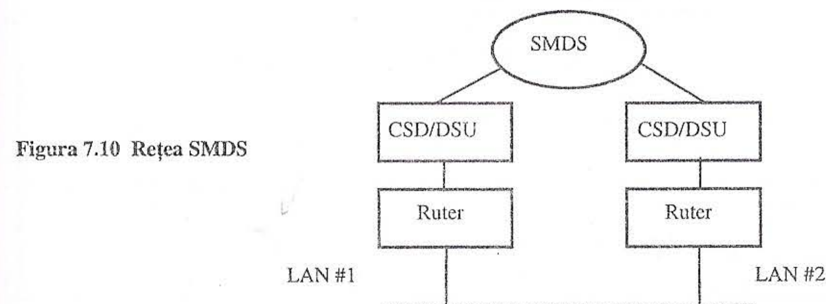


Figura 7.10 Rețea SMDS

Standardul SMDS specifică interfața DTE-DCE, fiind prezentate protocoalele de interfață **SIP** (*SMDS Interface Protocol*) și **SNI** (*Subscriber Network Interface*).

Protocolul SIP se bazează pe standardul pentru rețele metropolitane DQDB, prezentat în capitolul 6. Protocolul SIP are două tipuri de unități de date, numite L3PDU și L2PDU.

Un tip de date, L3PDU, este generat de router, înglobat apoi într-un cadru HDLC (formatul de încapsulare este **DXI** - *Data eXchange Interface*) și trimis

unităţii **CSU/DSU** (*Channel Service Unit/Data Service Unit*), care creează prin fragmentare cadrele L2PDU, pe care le transmite în reţea. La cealaltă extremă se petrece fenomenul invers.

Printre alte caracteristici ce permit o astfel de viteză şi siguranţă ridicată (adrese de grup, validarea adresei sursei), este de remarcat existenţa unui **credit manager**, cu responsabilităţi în gestionarea încărcării reţelei.

7.2.3.4. Reţele ATM

Tehnologia **ATM** este prezentată mai detaliat în capitolul 9, dar pentru completitudine este inclusă în tabelul comparativ ce sintetizează caracteristicile mai importante ale tehnologiilor construirii reţelelor geografice cu comutarea pachetelor.

7.2.3.5. Tabel comparativ

Tabelul 7.11 prezintă sintetic şi comparativ caracteristicile principale ale tehnicilor folosite în realizarea reţelelor cu comutare de pachete.

	X.25	Frame Relay	SMDS	ATM
Standard	CCITT, ISO	CCITT, ANSI	ETSI, Bellcore	CCITT
Viteza tipică	9.6 - 64kbps	64kbps - 2Mbps	2 - 34Mbps	45-155Mbps
Dimensiune pachet	Variabilă, max. 4Kbyte	Variabilă, max. 4Kbyte	Variabilă, max. 9188bytes	Fixă de 53bytes
Multicasting	Nu	Da	Da	Da
Adresarea	Adresă lungime variabilă, max. 14 cifre	Adresă lungime fixă de 10biţi	Adresă lungime variabilă, max. 15 cifre	Adresă lungime fixă de 24biţi
Orientat pe conexiune	Da	Da	Nu	Da
Control flux pe circuit virtual	Da	Nu	Nu e cazul	Da

Tabelul 7.12 Comparaţie între diferite tehnici pentru reţelele cu comutarea de pachete

7.3. Interconectarea reţelelor LAN şi WAN

Subcapitolul tratează problemele ce apar la interconectarea oricăror două reţele (probleme de *internetworking*), cu precădere cele legate de conectarea unei reţele locale la o reţea de mare întindere. Elementele de interconectare a

două reţele locale au fost tratate în capitolul 6.

Elementele de interconectare de tip bridge acţionează la nivelul **Legăturii de date**, mai precis la nivelul **MAC**. Problemele legate de conectarea reţelelor locale LAN la reţelele de mare întindere **WAN** (*Wide Area Networks*) sunt mai complexe şi se situează (cel puţin) la nivel arhitectural 3 (nivelul **Reţea**). Ele vizează cu precădere:

- stabilirea relaţiilor între adresele de nivel MAC, folosite în cadrul unui LAN şi adresele la nivel **Reţea** folosite în cadrul unui WAN;
- problemele de dirijare în meta-reţea, pentru transportul unui mesaj de la nodul sursă către nodul terminal destinaţie; prin **meta-reţea** se înţelege ansamblul reţelelor conectate.

Restul capitolului defineşte funcţiile unui element de interconectare de tip ruter (*router*) şi tratează elemente specifice adresării şi dirijării în meta-reţea: tehnici de dirijare, tratarea adreselor, principalii algoritmi folosiţi pentru dirijare (*routing*).

Oricare ar fi baza teoretică de studiere a problematicii de interconectare, se definesc (legate de activitatea în reţea), două tipuri de sisteme:

- sisteme (noduri) terminale **ES** (*end systems*), care desfăşoară aplicaţii în reţea;
- sisteme intermediare **IS** (*intermediate systems*), care îndeplinesc în principal funcţii de dirijare a mesajelor din reţea, către nodul destinaţie; ele sunt mai cunoscute sub numele de ruter, iar în filozofia ARPA purtau numele de **IMP** (*Interface Message Processor*). Arhitectura lor logică, pentru cazul interconectării unui LAN la un WAN, este ilustrată de figura 7.11.

În cazul interconectarii a mai multe reţele, cu nivele arhitecturale diferite, structura ruterului este mai complexă. El poartă acum denumirea de **ruter multiprotocol** şi are o structură logică ilustrată de figura 7.12.

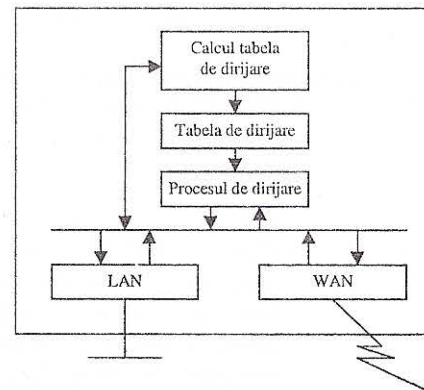


Figura 7.11 Structura unui ruter

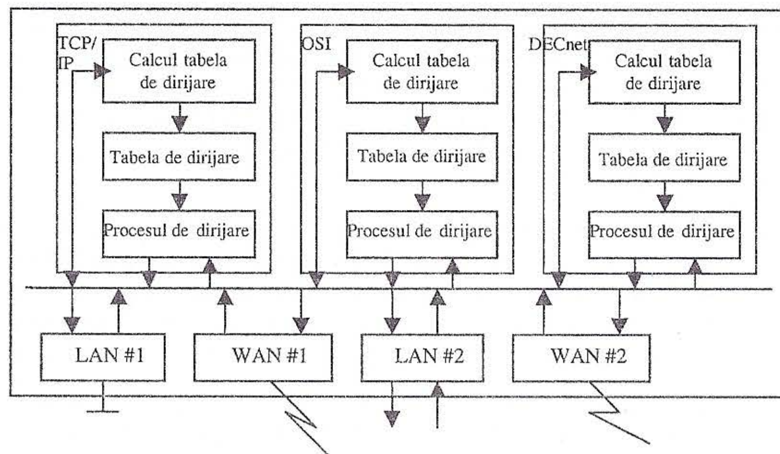


Figura 7.12 Structura unui ruter multi-protocol

7.4. Tehnici de dirijare

Procesul dirijării pachetelor în rețea privește multiple aspecte, precum algoritmii și protocoalele folosite, formatul mesajelor folosite pentru selectarea unei căi în cadrul unei topologii de rețea.

O primă clasificare a tehnicilor de dirijare ar fi după sursa informației care stă la baza luării deciziei de dirijare. Astfel se pot defini trei tehnici principale:

- dirijarea pe baza adresei din rețea (*routing by network address*)
  Metodă care implică ca fiecare pachet să transporte cel puțin adresa sistemului terminal destinație, pe baza căreia, prin folosirea unor tabele de dirijare, sistemele intermediare aleg ruta de urmat în continuare.
- dirijarea de la sursă (*source routing*)
  Metodă prin care sistemul sursă stabilește ruta completă până la destinație, prin enumerarea în câmpuri ale mesajului, a tuturor nodurilor intermediare ce trebuie parcurse.
- interschimbarea etichetelor (*label swapping*)
  Metoda folosită în rețelele cu protocoale bazate pe conexiune, între care și la rețelele ATM, prin care fiecare pachet (mesaj) este marcat cu o etichetă ce constituie cheia de căutare în tabela de dirijare a fiecărui sistem intermediar. La înaintarea mesajului (*message forwarding*), sistemul schimbă această etichetă cu o alta; dacă protocolul este orientat pe conexiune, ca etichetă se folosește identificatorul conexiunii.

Alte elemente caracteristice tehnicilor de dirijare sunt:

- Criteriul performanței, ce ia în considerare costul transmisiei, cost exprimat în diverse metrici:
  - număr de noduri intermediare traversate (număr de *hops*);
  - întârzirea în parcurgerea rutei;
  - încărcarea rețelei;
  - costul "real" al traversării.
- Strategia de dirijare, ce poate fi:
  - fixă (statică), exemplificată de metoda inundării (*flooding*) sau folosirea tabelelor de dirijare statice, elaborate manual de administrator;
  - adaptivă, metodă ce poate fi de tipurile:
    - centralizată, la nivelul unei stații centrale pentru dirijare;
    - izolată, la nivel de sistem intermediar, dar fără schimb de informații între sisteme (dirijarea de tip *hot potato* sau cea bazată pe învățarea regresivă – *backward learning*);
    - distribuită, la nivel de IS, cu schimb de informații între acestea (metode bazate pe pachete tip vector distanță sau pe pachete ce transportă starea legăturii);
    - aleatoare.
- Momentul luării deciziei de dirijare, cum ar fi: la stabilirea circuitului virtual sau pentru fiecare pachet datagramă în parte.
- Locul unde se ia decizia de înaintare a pachetului (în fiecare nod, într-un nod central, în nodul sursă).
- Sursa de informație despre starea rețelei (niciuna, local pentru nod, noduri adiacente, toate nodurile).
- Durata de reîmprospatare a informației (continuă, periodică, la schimbări majore referitoare la starea fizică a elementelor din meta-rețea).
- Abordarea dirijării ierarhice, bazată pe împărțirea meta-rețelei în domenii, dirijare privită actual ca singura soluție pentru a face față dezvoltării meta-rețelelor; este descrisă și exemplificată pentru structura ierarhică TCP/IP (capitolul 8) și pentru rețeaua cu ierarhie OSI (capitolul 8).

7.4.1. Dirijarea distribuită

Tehnologiile normale ale rețelelor locale și ale rețelelor metropolitane se bazează (cum s-a descris în capitolele precedente) pe accesul la mediu și partajarea sa, prin faptul că întreaga bandă disponibilă este partajată între utilizatori, fiecare utilizator având teoretic acces la întrega bandă. Luând ca exemplu o rețea Ethernet la 10Mbps, în cazul mai multor utilizatori care folosesc rețeaua, datorită mecanismelor de acces, încărcarea efectivă scade la 4Mbps. În locul unor mecanisme complicate de arbitrare a accesului, ineficiente și ele odată ce vitezele de lucru ale calculatoarelor se apropie de vitezele de transfer ale mediului, nu există alte soluții decât trecerea la medii ce oferă viteze cu un ordin superioare, sau segmentarea pronunțată a rețelelor, până la cazul extrem de un utilizator per segment. Din această cauză se observă migrarea către noi configurații de LAN, prin creșterea importanței și a numărului de punți (*bridges*) sau concentratoare (*hubs*) și atingerea configurației de un utilizator pe segment, prin folosirea comutatoarelor (*LAN switches*), între care comutatoarele ATM devin tot mai comune. În acest fel complexitatea și rolul tehnicilor de dirijare inter și intra LAN scade, având loc o trecere de la dirijarea complexă și centralizată către o dirijare distribuită.

Dirijarea distribuită (*distributed routing*) permite realizarea sarcinilor complexe de dirijare în meta-rețea în mod distribuit, de către toate sistemele intermediare din rețea; pentru aceasta ele trebuie să implementeze (suplimentar transferului de informații utilizator), un serviciu de schimb de informații între ele, informații necesare calculului tabelelor de dirijare sau semnalizării prezenței în rețea (legături IS-IS). De asemenea este necesară conlucrarea între sistemele intermediare și sistemele terminale conectate la rețea (legături ES-IS), pentru determinarea vecinilor. Acest schimb de informații se realizează prin protocoale de tip *neighbor greetings*, bazate pe transmiterea de pachete speciale de *hello* între sistemele vecine.

Tabela de dirijare (*routing table*) este o structură de date ce se calculează pe baza parametrilor de optimalitate aleși, cum ar fi costul efectiv al dirijării (dat de costul fiecărei linii și costul fiecărui ruter), sau numărul de noduri traversate. Acești parametri sunt cunoscuți și setați în consecință de administratorul de rețea.

Algoritmii de dirijare distribuită sunt larg acceptați de toate tipurile de rețele (rețele TCP/IP, rețele OSI, Decnet, etc.) și ei pot fi împărțiți în două mari categorii:

- algoritmi de tip 'vector distanță';
- algoritmi bazați pe pachete ce transportă starea legăturii LSP (*Link Status Packet*).

7.4.1.1. Algoritmul de dirijare de tip 'vector distanță'

Algoritmul de dirijare de tip 'vector distanță' (*distance vector*), sau **algoritmul Bellman-Ford** (după numele inventatorilor: R.E. Bellman pentru versiunea centralizată și L.R. Ford pentru versiunea distribuită), implică ca fiecare ruter să producă sau să posede, pe lângă tabela de dirijare și o structură de date, numită **vector distanță,** asociată fiecărei linii la care ruterul este direct conectat, și care este un pachet (numit **DVP**) ce conține informații furnizate de ruterul de la celălalt capăt al liniei (vezi figura 7.13). În această figură se ilustrează faptul că ruterul A, cu adresa 3, este legat cu ruterul B, cu adresa 7. Costul liniei este 5, iar linia este notificată ca L3 de către ruterul A și ca L8 de către ruterul B.

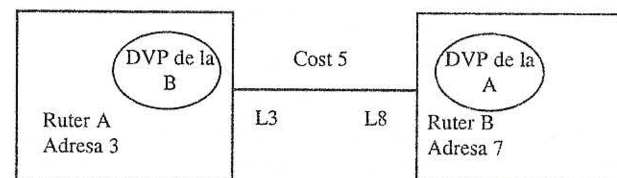


Figura 7.13 Ilustrarea conceptului de vector distanță

Actualizarea tabelelor de dirijare se face prin intermediul acestor vectori distanță, de fiecare dată când un ruter calculează o nouă tabelă de dirijare, o va transmite (în totalitate sau în parte) sistemelor intermediare (ruterelor) adiacente, prin intermediul vectorilor distanță.

Un exemplu de tabelă de dirijare (fie ea pentru ruterul A), este prezentat în figura 7.14. Ea cuprinde următoarele informații:

- adresa fiecărui nod al rețelei, fie el ruter (IS), fie nod terminal ES;
- numărul de noduri (*hops*) de traversat de la router-ul curent (care deține tabela), la nodul cu adresa respectivă;
- costul total al căii, de la ruterul curent la nodul respectiv (costul nul este asociat căii de la un nod la el însuși);
- identificatorul liniei pe care se face dirijarea mesajului către nodul destinație.

Adresa	Număr noduri	Cost total	Linia
1	5	25	3
2	3	20	2
3	0	0	0
4	2	15	3
5	7	55	1
6	4	23	1
7	1	5	3

Figura 7.14 Tabelă de dirijare

Adresa	Număr noduri	Cost total
1	6	30
2	4	25
3	1	5
4	3	20
5	8	60
6	5	28
7	2	10

Figura 7.15 Vectorul distanță

Când un ruter actualizează tabela sa de dirijare, din motive date de starea rețelei, sau în mod periodic, el transmite tuturor ruterelor adiacente informațiile esențiale din noua tabelă, cum ar fi în cazul nostru datele corespunzătoare primelor trei coloane ale tabelei (adresă nod, număr de noduri până la el, cost). Figura 7.15 ilustrează vectorul distanță trimis de ruterul A și memorat (după procesare) de către ruterul B. Înainte ca ruterul B să memoreze informația transmisă de A, o va procesa, în cazul prezentat fiind executate operațiile:

- incrementarea valorilor din câmpul 'număr de noduri' (se adaugă un nod la rută, nodul A);
- adună costul liniei pe care a primit DVP, la toate costurile aferente altor linii.

În momentul când un ruter primește un vector distanță, verifică dacă sunt modificări față de vectorul distanță precedent primit de la același ruter adiacent, și dacă da, reface tabela de dirijare și transmite pachete vectori distanță către ruterele adiacente. Același procedeu de refacere a tabelei și de anunțare prin vectori a vecinilor este folosit la activarea/dezactivarea ruterului, sau se lansează în mod periodic (protocolul RIP, din modelul TCP/IP folosește o actualizare la fiecare 30 secunde).

O caracteristică delicată a algoritmului este rezolvarea cazului ivit la căderea unei legături, așa numita problemă a 'numărării la infinit'. Ea este prezentată sintetic prin elementele următoare:

- la întreruperea unei legături din rețea (fie ea dintre ruterele R1 și R2) sau la căderea unui ruter (fie el R1), la primul schimb de pachete DVP, ruterul R2 nu va primi informații de la ruterul R1;
- aceasta nu afectează informațiile despre ruterul R1 aflate în tabelele de dirijare ale altor rutere; de exemplu ruterul R3 posedă în continuare informația nemodificată despre rute spre R1, pe care o transmite și ruterului R2;
- ruterul R2 prelucrează această informație de la R3 (referitoare la R1) și o va procesa corespunzător, printre altele incrementând câmpul de număr de noduri traversate până la R1;
- procesul evoluează fără restricții, ducând printre altele la o creștere spre infinit a valorii din acel câmp (practic este stabilită o valoare maxim admisibilă pentru acel câmp); când se atinge acea valoare, procesul este întrerupt și eroarea este semnalizată.

O posibilă rezolvare ar fi 'omisiunea', respectiv ruterul care a 'învățat' o cale de la un ruter adiacent, nu îi va trimite înapoi informații despre acea cale (*split horizon*), sau îi va trimite o informație de achitare pentru care costul rutei nu are semnificație (*poisoned reverse*).

Avantajul principal al algoritmului constă în simplitatea sa, dar prezintă numeroase dezavantaje, precum:

- oferă o complexitate polinomială de ordin doi (chiar trei pentru caz defavorabil);
- viteza sa nu poate depăși pe cea a liniei sau a ruterului cel mai lent;
- dificultatea de a construi tabela pentru întreaga rețea și necesitatea întreținerii sale duc la un consum suplimentar de resurse (pachete suplimentare);
- nu este complet soluționată problema numărării la infinit, implicând timpi lungi pentru convergență.

Toate acestea limitează performanța, la aplicarea sa în procesul dirijării din rețelele geografice.

7.4.1.2. Algoritmi de dirijare bazați pe starea legăturii

Algoritmii de dirijare bazați pe folosirea de pachete ce transportă starea legăturilor **LSP** (*link state packet*), presupun că se poate cunoaște toată rețeaua, harta rețelei fiind dezvoltată de fiecare ruter prin intermediul acestui tip de pachete. Se crează astfel o bază de informații distribuită, construită prin contribuția fiecărui ruter.

Fiecare ruter, folosind metoda de tip *'neighbor greetings'*, descoperă (învață) care sunt vecinii săi direcți și comunică această informație altor rutere, folosind pachete speciale, numite pachete ce transportă starea legăturilor, **LSP** (*Link State Packet*). Ele sunt transmise prin inundare selectivă, și sunt prelucrate de ruterele destinație, care actualizează baza proprie de date pentru pachete LSP. Astfel baza de date din fiecare ruter constituie o oglindă a grafului rețelei și ea stă la baza elaborării de către fiecare ruter a propriei tabele de dirijare. Calculul tabelei se face de obicei după **algoritmul lui Dijkstra**, implicând construirea arborelui de acoperire de tip **SPF** (*Shortest Path First*). Structura logică a unui ruter LSP este ilustrată de figura 7.16.

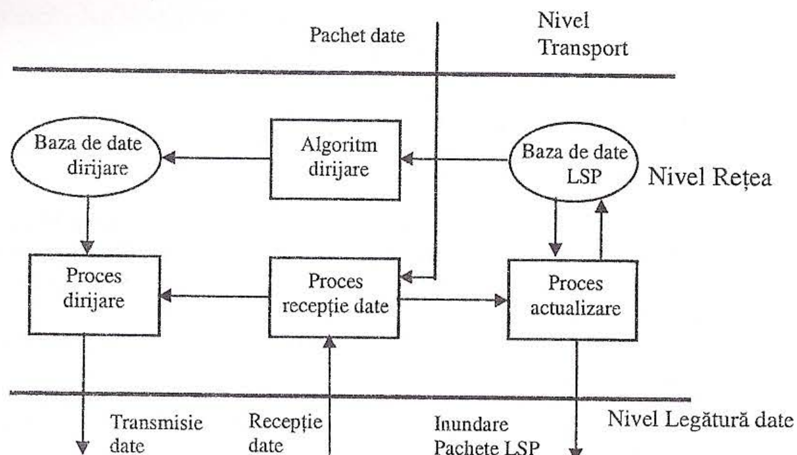


Figura 7.16 Structura logică a unui ruter LSP

Există o problemă legată de structura și caracteristicile unui LAN. Deoarece un LAN folosește un mediu de comunicare de tip broadcast, toate nodurile fiind considerate adiacente, nu se pretează modelării topologiei cu ajutorul unui graf. Din punctul de vedere al meta-rețelei, un LAN se modelează printr-un pseudo-nod, fiind suficientă comunicarea dintre un IS și acest pseudo-nod, decelându-se astfel problemele dirijării în meta-rețea și a accesării destinației în interiorul LAN.

Algoritmul bazat pe LSP are o complexitate de calcul logaritmică, poate fi aplicat unor rețele cu un număr suficient de noduri (de ordinul miilor), prezintă o bună comportare (convergență) în caz de apariție eroare, o bună stabilitate, problema principală fiind crearea și întreținerea bazei de date cu structura meta-rețelei, distribuirea sigură a pachetelor LSP și tratarea specială a cazului rețelei LAN.

Este utilizat atât în modelul TCP/IP (protocolul OSPF), cât și în modelul OSI (protocolul IS-IS).

8. PRINCIPALELE ARHITECTURI ALE REȚELELOR DE CALCULATOARE

8.1. Arhitectura rețelelor TCP/IP

8.1.1. Introducere

La începutul anilor '70 a demarat în Statele Unite, sub patronajul **DARPA** (*Defence Advanced Research Project Agency*), proiectul de interconectare a tehnicii de calcul din principalele instituții de cercetare și învățământ americane. Se avea ca scop interconectarea unei număr însemnat de sisteme de calcul diverse, prin intermediul unei rețele bazate pe comutarea de pachete. Rețeaua rezultată, numită **ARPAnet** se bazează pe un grup de protocoale (se mai folosește termenul de **stivă de protocoale**), numit **Internet Protocol Suite** (ISP); dintre aceste protocoale, cele mai notabile sunt protocoalele **IP** și **TCP**, de unde și denumirea uzuală a arhitecturii, **TCP/IP**. Denumirea implică o oarecare ambiguitate, deoarece se vorbește de un protocol aplicație peste TCP/IP, precum SNMP peste TCP/IP, deși aplicația folosește pentru transport nu protocolul TCP, ci protocolul UDP, o variantă alternativă a TCP-ului. Protocoalele din cadrul arhitecturii fiind în marea majoritate în domeniul public, au avut un imens succes, anulând practic șansele de răspândire ale altor arhitecturi, chiar mai elaborate, precum protocoalele arhitecturii ISO OSI.

Specificarea protocoalelor TCP/IP se face prin intermediul unor documente numite **RFC** (*Request For Comments*), care în final devin standarde. Ele sunt obținute prin **Internet** de către orice proiectant de rețele.

Arhitectura TCP/IP a fost adoptată de rețeaua Internet, care cu peste 20 milioane calculatoare conectate, este de departe cea mai mare rețea de calculatoare de pe glob.

8.1.2. Arhitectura TCP/IP

Stiva de protocoale ce alcătuiesc arhitectura TCP/IP este ilustrată de figura 8.1. Este ilustrată și o posibilă paralelă cu stiva arhitecturii ISO OSI. De specificat este faptul că arhitectura TCP/IP este foarte flexibilă, prin posibilitatea folosirii de protocoale alternative, în scopul obținerii unui optim pentru o aplicație dată. Astfel se poate vorbi de o aplicație de acces la distanță **Telnet** peste **TCP/IP/Ethernet** sau o aplicație de management **SNMP/UDP/IP/Token Ring**.

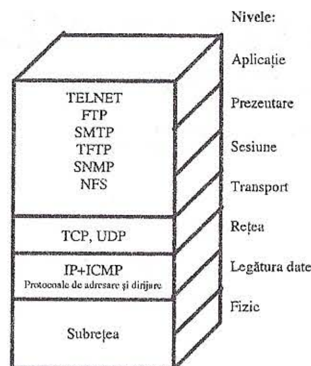


Figura 8.1 Arhitectura TCP/IP

8.1.3. Nivelul Subreţea

Arhitectura TCP/IP nu specifică expres protocoale pentru nivelele 1 şi 2, denumind generic acest nivel **Subreţea** (*subnetwork*). Ea utilizează însă protocoalele disponibile şi conforme standardelor. Astfel pentru reţelele locale se recunosc **Ethernet/IEEE 802.3, Token Ring, FDDI**, iar pentru reţelele geografice se recunosc protocoale precum **HDLC, PPP, SLIP, Frame Relay, SMDS, ATM**.

8.1.4. Protocolul IP

Protocolul **IP** (*Internet Protocol*) este protocolul care stă la baza arhitecturii TCP/IP, iar în zilele noastre orice calculator conectat la **Internet** 'înţelege' IP. Protocolul este specificat în RFC 791 şi standardele militare DOD MIL-STD 1777. Este un protocol considerat de nivel **Reţea**, de o complexitate scăzută, orientat pe datagrame, având ca principale sarcini doar adresarea calculatoarelor şi fragmentarea pachetelor. Prevede în acelaşi timp tehnici pentru detectarea (dar nu şi corectarea) erorilor, precum şi pentru dirijarea pachetelor (înaintarea lor către următoarea destinaţie), fără a oferi însă garanţii pentru corectitudine.

Sintetic, principalele atribute IP ar fi:

- protocol orientat pe datagrame;
- asigură (dacă este necesar) fragmentarea pachetelor; necesitatea fragmentării la nivelul IP este dată de faptul că un pachet IP *'en route'* între sursă şi destinaţie poate traversa diferite tipuri de reţele, fiecare prezentând diferite valori maxime ale dimensiunii acceptate pentru unitatea de date a protocolului respectiv;

- foloseşte adresarea bazată pe adrese Internet de 32 de biţi;
- prevede limitarea lungimii pachetelor gestionate la 65.535 octeţi;
- suma de control se aplică doar antetului, nu şi câmpurilor de date;
- prevede în cadrul pachetului IP câmpuri opţionale;
- pachetele au o durată de viaţă în reţea limitată;
- încearcă o dirijare a pachetelor, fără a oferi garanţia transmiterii cu succes sau a unei optimalităţi (*best-effort routing*).

8.1.4.1. Formatul unui pachet IP

Formatul antetului pachetului IP este ilustrat de figura 8.2, câmpurile sale având următoarea semnificaţie:

Bit: 0, 4, 9, 16, 31

Bit 0	4	9	16		31
Version	HLength	Service Type	Total Length		
Identification			Flags	Fragment Offset	
Time To Live		Transp. Protocol	Header Checksum		
Source IP Address					
Destination IP Address					
Options					Padding

Figura 8.2 Structura pachetului IP

Version number Câmp de 4 biţi ce conţine numărul de versiune al protocolului IP care a generat pachetul, versiunea curent folosită fiind 4. Versiunea 6, ce se introduce actualmente, este adaptată arhitecturilor bazate pe tehnologie ATM.

Header Length Câmpul HLEN specifică lungimea (exprimată în cuvinte de 32 de biţi) a antetului IP, lungimea fiind variabilă datorită câmpurilor adiţionale de tip **Options**. Cea mai mică lungime a antetului este de 5 cuvinte, de aceea majoritatea pachetelor IP uzuale au ca primă valoare hexa în pachet, valoarea 45H.

Type of Service Câmpul specifică modul în care un protocol de nivel superior doreşte ca pachetul IP curent să fie tratat; este posibilă asignarea unor nivele de prioritate prin intermediul acestui câmp. Uzual însă, câmpul conţine valoarea 0, indicând o procesare normală a pachetului; mai mult implementările sub UNIX nici nu analizează acest câmp.

Packet Length Indică lungimea totală (antet şi date) a pachetului IP. Lungimea se exprimă în număr de octeţi; câmpul având doar 16 biţi, implică ca valoare maximă a lungimii pachetului IP, valoarea de 65.535octeţi.

Identification Câmpul conţine un număr intern asociat pachetului, generat de către host-ul emiţător. Această valoare este folosită la reasamblarea fragmentelor componente ale pachetului fragmentat (identificat).

Flags Câmpul conţine doi indicatori:

- indicatorul **DF** (*Don't Fragment*) specifică dacă un pachet poate fi fragmentat sau nu;
- indicatorul **MF** (*More Fragments*) specifică dacă după pachetul (subpachetul) curent mai urmează sau nu şi alte fragmente.

Fragment Offset Câmpul conţine offset-ul (poziţia) fragmentului curent, relativ la începutul întregului mesaj fragmentat.

Time to Live Câmpul constituie un contor care se decrementează în timp, specificându-se astfel o durată maximă de existenţă a pachetului în reţea. Se previne astfel aglomerarea reţelei prin existenţa pachetelor care au intrat în buclă infinită. Contorul este decrementat de fiecare host care procesează pachetul, astfel că valoarea iniţial setată poate fi considerată şi ca număr maxim de noduri din reţea (*hops*), care pot fi vizitate de pachetul curent.

Transport protocol

Câmpul identifică protocolul de nivel superior (nivelul Transport), care a solicitat serviciu nivelului IP, deci protocolul Transport pentru care se procesează pachetul IP curent. Există o listă oficială a acestor protocoale transport, cu peste 50 de elemente; dintre ele, pentru necesităţile acestei cărţi, sunt suficiente cunoaşterea valorilor: 6 pentru TCP, valoarea 17 pentru UDP, valoarea 1 pentru ICMP, valoarea 29 pentru protocolul ISO TP4.

Header Checksum

Câmpul conţine suma de control numai pentru antetul pachetului; din motive de eficienţă protcolul IP nu calculează sumă de control pentru întregul pachet, iar algoritmul pentru calculul sumei de control pentru antet este mai simplu decât CRC-ul folosit la nivelele inferioare, şi anume este calculul

complementului faţă de 1 a sumei de 16 biţi obţinute prin însumarea tuturor câmpurilor (de 16 biţi) testate.

Source Address,
Destination Address

Adresele IP pe 32 biţi ale sursei şi destinatarului prezentului pachet sunt memorate în aceste câmpuri.

Options Câmpul de opţiuni permite dezvoltarea funcţiilor protocolului cu sarcini de gestionare a reţelei sau de asigurare a securităţii. Principale câmpuri ce pot fi amintite ar fi:

- **Source Route**, reprezentând o listă de adrese IP prin care va trece pachetul curent (implementează principiul dirijării de la sursă);
- **Record Route**, înregistrarea rutei parcurse;
- **Time stamp**, înregistrează momentele de timp la care pachetul a trecut pe la un host; este folosit pentru măsurarea performanţei;
- **Security**, câmp pentru aplicaţii militare.

Padding Câmp 'de umplutură', conţinând caracterul 'pad', folosit pentru a asigura antetului o lungime (exprimată în octeţi) multiplu de 4.

8.1.4.2. Adresarea la nivel IP

Adresarea la nivelul protocolului IP este parte integrantă a adresării către partenerul de comunicaţie, fie el un program de aplicaţie de exemplu. În cadrul reţelelor TCP/IP, întreaga adresare necesită patru nivele:

- adresarea la nivelul Subnetwork;
- adresarea Internet;
- adresa protocolului Transport;
- numărul portului unde se manifestă aplicaţia.

Două din aceste adrese, adresa IP şi adresa protocolului Transport sunt câmpuri ale pachetului IP. Adresa IP are o lungime de 32 de biţi şi se exprimă în valorile zecimale ale fiecărui octet, valorile fiind despărţite prin punctul zecimal. Adreselor IP li se asociază, din motive de comoditate, unul sau mai multe nume, definite local în fişierul "hosts".

Exemplu:

```
224.2.10.5    delta
256.1.3.22    statia1  mycomputer
```

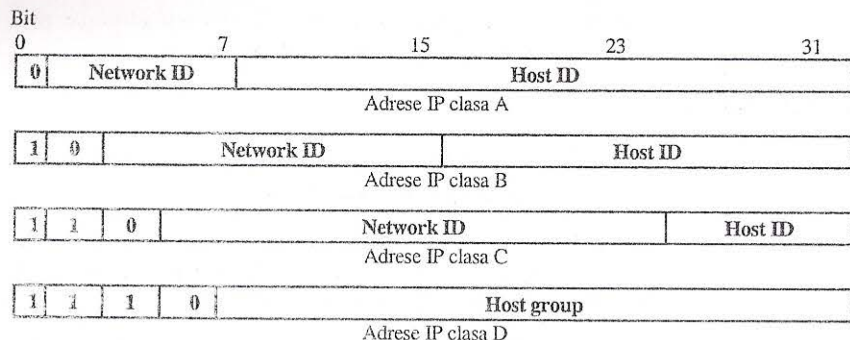


Figura 8.3 Tipuri de adrese IP

Figura 8.3 prezintă clasele uzuale de adrese IP. Trei dintre aceste clase prezintă cele două câmpuri importante ale unei adrese IP şi anume:

- identificatorul de reţea (**Network ID**), definind reţeaua în care este situat calculatorul curent;
- identificatorul calculatorului (**Host ID**), identifică un calculator în cadrul reţelei.

Adresele IP sunt gestionate de autorităţi abilitate (NIC - *Network Information Center*), care atribuie adresele în aşa fel ca fiecare calculator conectat la Internet să aibă o adresă IP unică.

Adresele IP sunt împărţite în cinci clase, care au evoluat în timp din motive de dezvoltare a metareţelelor:

- **Clasa A**, identificată de valoarea 0 a primului bit, a fost concepută presupunându-se că în lume vor exista puţine reţele, dar de dimensiuni foarte mari (s-a dovedit contrariul, fiind necesare alte structuri de adrese). Este recunoscută prin faptul că primul câmp de adresă este cuprins între valorile zecimale 0 şi 127.
- **Clasa B** a fost concepută presupunând un număr mediu de reţele medii. Primul câmp de adresă are valori între 128 şi 191.
- **Clasa C** a fost concepută pentru un număr mare de reţele compuse fiecare dintr-un număr redus de staţii (reţelele locale de exemplu). Structura adresei IP clasă C permite existenţa a peste două milioane de reţele cu 256 de adrese fiecare. Primul câmp zecimal al adresei este cuprins între 192 şi 223.
- **Clasa D** cuprinde adresele de multicast, fiind distribuite grupurilor de utilizatori. Are primul câmp zecimal între 224 şi 239.
- **Clasa E** este rezervată pentru cercetări şi dezvoltări următoare, având primul câmp zecimal între 240 şi 255.

Pentru a se facilita dirijarea în reţele mari, câmpul '**Host ID**' pentru adrese din clasele de adrese A, B şi C, poate fi divizat în două părţi: subreţeaua (*subnet*) şi host-ul propriu-zis. Apar astfel trei câmpuri de identificatori: **Network ID**, **Subnetwork ID** şi **Host ID**, cum prezintă şi figura 8.4 pentru o adresă de clasă B.

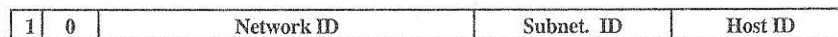


Figura 8.4 Structura pentru reţele mari

Relaţia între lungimea câmpurilor **Subnetwork ID** şi **Host ID** este stabilită de administrator, într-un mod flexibil, prin definirea unei **măşti de reţea** (*network mask*, sau *netmask*), alcătuită din biţi 1 pentru câmpurile **Network ID** şi **Subnetwork ID**, şi biţi 0 pentru câmpul **Host ID**. Este important a şti dacă două adrese aparţin aceleaşi subreţele, deoarece primul nivel de dirijare se bazează pe corespondenţa făcută de sistemele TCP/IP între reţelele fizice şi subreţelele IP, şi anume se consideră biunivocă relaţia dintre ele. Implementări mai noi ale TCP/IP pentru reţele LAN, permit ca unei reţele LAN fizice să-i corespundă mai multe subreţele IP, dar invers relaţia se menţine.

Conceptul de subreţea implică analiza dirijării pachetelor IP între subreţele (*inter subnets*) şi în interiorul unei subreţele (*intra subnet*). În interiorul subreţelei dirijarea este asigurată de algoritmul propriu folosit de reţeaua fizică cu acea adresă de subreţea. Singura problemă apare la maparea adreselor IP către adrese de nivel 2 (adrese MAC), pentru aceasta fiind definite protocoalele ARP şi RARP, descrise în subcapitolul 8.1.6.

Între subreţele adresarea este gestionată de echipamente de interconectare de tip **ruter** IP. Un aspect important al adresării IP este faptul că un echipament de tip bridge, operând la nivelul arhitectural 2, este transparent pentru protocolul IP, reţelele conectate prin bridge fiind identificate prin aceaşi adresă de subreţea IP. Echipamentele de tip ruter, sunt vizibile IP, ele conectând LAN-uri cu adrese de subnet diferite. Un ruter va fi identificat prin două adrese IP, corespunzător adreselor de subnet ale celor două LAN-uri. Ruterele IP desfăşoară dirijarea pachetelor IP pe baza unor tabele de dirijare, elaborate de administratorul de reţea sau determinate conform unor algoritmi descrişi în subcapitolul 8.1.7.

8.1.5. Protocolul ICMP

Protocolul **ICMP** (*Internet Control Message Protocol*) a fost proiectat pentru a raporta anomaliile ce apar la dirijarea pachetelor IP (a transporta date de eroare şi diagnostic). Specificat prin RFC 792, a fost proiectat pentru a acoperi lipsurile protocolului IP, care nu implementează el însuşi asemenea funcţii de control la nivelul dirijării pachetelor. Adresa de protocol transport pentru ICMP,

din cadrul antetului IP, este 1.

Deoarece ICMP transportă informaţii de tipuri diverse, doar structura de bază a antetului ICMP este stabilită, restul câmpurilor fiind variabile. Antetul de bază ICMP este ilustrat de figura 8.5.

Type	Code	(Checksum)
Miscellaneous		
IP Header		

Figura 8.5 Structura antetului ICMP

Câmpurile **Type** şi **Code** specifică tipurile de mesaje ICMP, respectiv indică o subfuncţie în cadrul unui cod.

Câmpul **Checksum** conţine suma de control specifică IP pentru întregul mesaj ICMP.

Câmpul **Miscellaneous** conţine informaţie diversă (număr de secvenţă, adresă Internet).

Câmpul **IP header** conţine datagrama IP suport şi primii opt octeţi ai mesajului transportat.

Tipurile pachetelor ICMP sunt ilustrate de tabelul 8.1 şi descrise pe scurt în continuare.

Tip	Funcţia
0	Echo Reply
3	Destination Unreachable
4	Source Quench
5	Redirect
8	Echo Request
11	Time Exceeded for a Datagram
12	Parameter Problem on a Datagram
13	Time Stamp Request
14	Time Stamp Reply
15	Information Request
16	Information Reply
17	Address Mask Request
18	Address Mask Reply

Tabelul 8.1 Pachetele ICMP

Pachetele ICMP care raportează anomalii în dirijarea pachetelor IP sunt: **Destination Unreachable**, **Time Exceeded for a Datagram** şi **Parameter Problem on a Datagram**.

Pachetele care verifică accesibilitatea fizică a unui nod din reţea sunt **Echo Request** şi **Echo Reply**.

Pachetele pereche de tip cerere-răspuns **Time Stamp** sau **Information** sunt destinate testării stării reţelei.

Pachetul **Redirect** indică o posibilitate de stimulare a unei dirijări mai eficiente, spre exemplu când un ruter determină că un host emiţător poate transmite pachetele către destinaţie într-un mod mai eficient, prin intermediul unui alt ruter, şi nu prin intermediul său, va anunţa aceasta host-ului sursă.

Pachetul **Source quench** este eliberat de un ruter către un host emiţător, pentru a-l anunţa că nu poate procesa pachetele IP transmise la viteza actuală, host-ul fiind nevoit să reducă viteza de transmitere.

Pachetele de tip **Address Mask Request** şi **Address Mask Reply** au fost introduse pentru determinarea măştii folosite de acea subreţea.

8.1.6. Protocoalele pentru adresare ARP şi RARP

Protocoalele de rezoluţie a adresei **ARP** (*Address Resolution Protocol*) şi de rezoluţie inversă a adresei **RARP** (*Reverse Address Resolution Protocol*), specificate în RFC 826, sunt utilizate pentru a stabili în mod automat corespondenţa între adresele de nivel arhitectural 3 (adrese IP) şi cele de nivel 2 (adrese MAC), şi invers. Ele comunică direct cu protocoalele aferente nivelului arhitectural Subreţea (nu prin intermediul IP) şi se dovedesc utile la comunicaţia între staţii aflate pe acelaşi LAN. Staţiile de pe un acelaşi LAN comunică direct prin intermediul adreselor de nivel inferior, iar dacă o staţie (fie ea S1) doreşte să transmită către o alta (S2), pentru care cunoaşte doar adresa IP, pentru a afla adresa MAC a lui S2, face o cerere ARP către acea staţie şi va obţine adresa fizică pe care o va memora într-un cache ARP, construind astfel tabele de translatare a adreselor. Pentru o utilizare eficientă a spaţiului de memorie cache, o intrare într-un cache ARP menţine şi un câmp de tip *'time stamp'*, pentru a se scoate din tabelă adresele (intrările) ce nu sunt activate un anumit interval de timp.

Protocolul RARP oferă serviciul invers, determinând adresa IP a unei staţii pentru care se cunoaşte adresa de nivel 2.

Formatul antetului unui pachet ARP este variabil, pentru ca protocolul ARP să poată fi adaptat oricărui tip de protocol de nivel 2 (de nivel MAC). În orice caz, el va conţine câmpuri precum: **Header Length, Protocol Type, Sender MAC Address** şi **Sender IP Address**, precum şi **Target MAC Address** şi **Target IP Address**.

8.1.7. Protocoale pentru dirijare

Până în acest moment s-a prezentat dirijarea pachetelor într-o rețea TCP/IP ca fiind organizată pe două nivele ierarhice, având o dirijare în interiorul subrețelei, gestionată de rețeaua fizică, şi o dirijare între rețele fizice (între subrețele), gestionată de porțile (ruterele) IP, pe baza tabelelor de dirijare.

La nivel mondial rețelele s-au grupat în **sisteme autonome** (*autonomous systems*), gestionate de o autoritate unică. În acest context se pot defini rutere pentru dirijarea în interiorul unui sistem, numite **Interior Routers** (porți interioare) şi rutere pentru dirijarea între sisteme, numite **Exterior Routers** (porți exterioare). Protocoalele de dirijare se pot, în acest sens, clasifica în două tipuri de protocoale:

- **IGP** (*Interior Gateway Protocol*) - protocoale ce folosesc porțile interioare;
- **EGP** (*Exterior Gateway Protocol*).- protocoale ce folosesc porțile exterioare.

Paragrafele următoare prezintă pe scurt principalele protocoale de dirijare folosite de sistemele TCP/IP.

RIP

Protocolul **RIP** (*Routing Information Protocol*), foarte folosit în rețelele de mici dimensiuni, mai ales în rețelele de calculatoare personale, este de tip **IGP** şi a fost elaborat de compania **Xerox**, de unde larga folosire în rețele **Novell**.

RIP este un protocol de tip 'vector distanță' (*distance vector*), fiecare ruter activând vectorul distanță (informații despre costurile rutelor către diferite destinații – a se vedea capitolul 7) către ruterele învecinate, un timp limitat. Tabela de dirijare a unui ruter memorează doar o cale către fiecare destinație. Această cale se determină pe baza unui algoritm de minim pentru numărul de noduri (*hops*) parcurse către destinație; mai mult, o limitare a protocolului este că permite un număr prea mic de noduri pentru cale (uzual 15). Alte limitări se referă la neluarea în considerare, pentru rutele optime, a vitezelor pe calea de transmisie şi procesul încet al reconfigurării căii de dirijare în caz de eroare în rețea.

IGRP

Protocolul **IGRP** (*Interior Gateway Routing Protocol*) a fost proiectat de **Cisco Systems** pentru a umple golurile protocolului anterior prezentat. Protocolul este tot de tip vector distanță, dar metrica determinării costului este mai sofisticată, incluzând luarea în considerare pentru determinarea rutei optime, a mai multor parametri ai rețelei, precum: întârzieri, lărgime de bandă, lungime maximă de pachet sau fiabilitatea nodurilor. De

asemenea protocolul permite o dirijare de tip multicale (*multipath routing*), divizând traficul în căi 'paralele'. Fiind un protocol proprietar, deținut de Cisco Systems, este folosit în primul rând de ruterele **Cisco**.

OSPF

Un alt protocol de tip IGP este protocolul **OSPF** (*Open Shortest Path First*), protocol public (*open*) dezvoltat pentru TCP/IP de către **IETF** (*Internet Engineering Task Force*) şi definit prin RFC 1247. Este un protocol de tip LSP (pachet stare legătură - *link state packet*), folosind mesaje pentru analizarea stării legăturilor. Semantic, protocolul se bazează pe un model ierarhic al rețelei.

Nivelul primar este sistemul autonom **AS** (*Autonomous System*), care este divizat în **zone** (*areas*) de rețele contigue, dintre care una este o zonă specială de tip 'coloană vertebrală' (*backbone area* sau zona 0). În acest fel, ruterele interne sistemului se pot clasifica mai departe, în directă legătură cu zona deservită, având definite diverse tipuri de rutere interne unei zone: rutere de frontieră zonă (*area border router*), rutere pentru arie backbone (*backbone router*) sau rutere de frontieră pentru sistemul autonom (*boundary router*). Ele sunt ilustrate de figura 8.6.

OSPF este un protocol 'în dezvoltare' şi reprezintă probabil alegerea viitoare (ca protocol bazat pe porți interioare) pentru mulți constructori de echipament. Avantajele sale 'din start' se referă la faptul că este public, că suportă o varietate de metrici pentru determinarea căii optime (algoritmul se bazează pe grafurile etichetate) şi că algoritmul de dirijare este flexibil, adaptându-se repede schimbărilor de topologie.

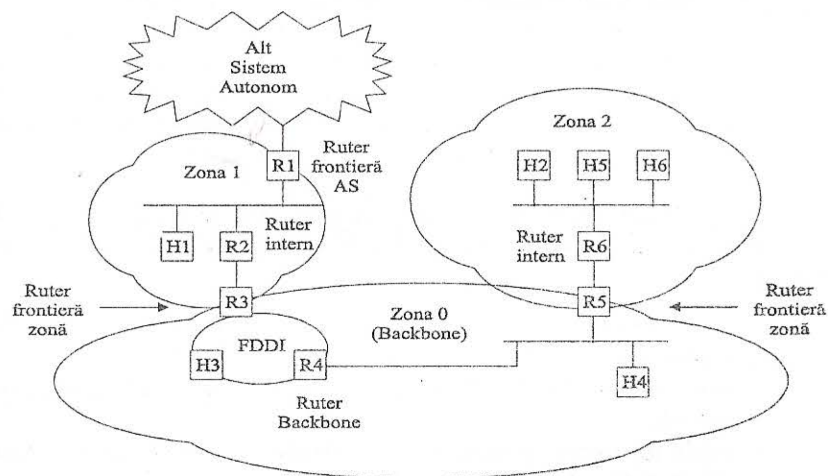


Figura 8.6 Tipuri de rutere

EGP

Protocolul **EGP** (*Exterior Gateway Protocol*) constituie primul protocol de dirijare a pachetelor între sisteme autonome (de unde denumirea 'tip EGP'), utilizat în sisteme TCP/IP. Este implementat pe marea majoritate a ruterelor existente, chiar dacă între timp a devenit învechit şi este în curs de înlocuire. Un protocol bazat pe porţi exterioare (protocol EGP) nu determină căile optime doar pe principii algoritmice, precum protocoalele de tip IGP, ci este obligat să respecte anumite constrângeri impuse 'ab initio', legate de obicei de anumite sisteme autonome ce alcătuiesc o reţea.

Protocolul se bazează tot pe algoritmul de dirijare 'vector distanţă', dar se specifică doar dacă un host este accesibil sau nu. La nivelul fiecărui ruter, protocolul generează pachete pentru întreţinerea informaţiei de dirijare (*routing update*), pachete ce transportă informaţie despre accesibilitatea unei reţele (*network reachability*), prin folosirea ruterului respectiv. Pachetele sunt transmise în mod regulat către ruterele vecine, în acest mod fiecare ruter putând actualiza propria tabelă de dirijare.

Limitările protocolului se referă în primul rând la lipsa unei metrici pentru determinarea costului căilor, protocolul nelivrând informaţii cantitative despre legăturile traversate. De aceea a devenit foarte folosit protocolul următor, numit **BGP**.

BGP

Protocolul **BGP** (*Border Gateway Protocol*), este gândit pentru înlocuirea protocolului EGP precedent. Ideea de bază dezvoltată este elaborarea, pentru fiecare destinaţie şi a secvenţei de sisteme autonome străbătute până la acea destinaţie. Fiecare ruter calculează şi memorează pentru fiecare destinaţie posibilă ruta 'preferată' (algoritmul de cost minim este programabil la nivel de ruter), şi o transmite ruterului adiacent prin intermediul unui vector distanţă.

O importanţă deosebită pentru protocoalele tip EGP o are traficul de tranzit asociat unui sistem; în acest sens protocolul BGP împarte reţelele traversate în trei categorii:

- *reţele terminale* (*stub networks*), care nu pot fi folosite pentru traficul de tranzit, pentru că sunt zone terminale ale grafului BGP;
- *reţele multiconectate*, care pot fi tranzitate, dacă nu există constrângeri asociate;
- *reţele de tranzit*, precum reţele backbone, ce au ca sarcină chiar transportul pachetelor între reţele.

Această grupare face ca algoritmul de dirijare să facă faţă tuturor schimbărilor ce pot afecta un sistem autonom.

8.1.8. Protocolul TCP

Protocolul **TCP** (*Transmission Control Protocol*), specificat prin RFC 793, este un protocol la nivelul **Transport**, fiind situat în arhitectura TCP/IP imediat deasupra protocolului IP. Protocolul TCP este orientat pe conexiune şi are ca principală sarcină asigurarea unei transmisii sigure a informaţiei în cadrul reţelei, de la un capăt la celălalt al circuitului virtual (*end-to-end communication*). Deoarece şi în arhitectura TCP/IP, nivelul **Transport** are ca sarcină eliminarea ultimelor probleme legate de comunicaţia prin reţea, sarcinile protocolului TCP sunt multiple, ţinând cont că protocolul de nivel **Reţea**, protocolul IP este un protocol 'subţire', raportat la problemele legate de comunicaţie. Se poate face o apropiere între TCP şi TP4, protocolul cel mai complex, la nivel **Transport**, din ierarhia ISO OSI. Principalele funcţii îndeplinite de protocol sunt următoarele:

- fiind un protocol orientat pe conexiune, asigură realizarea unui circuit virtual bidirecţional full-duplex;
- asigură o transmisie sigură a informaţiei prin folosirea sumei de control, a numerelor de secvenţă, mecanismelor de time-out cu retransmisie;
- prin natura transmisiei, bazată pe octeţi (blocurile sau segmentele de date au o lungime variabilă în funcţie de configuraţia actuală a reţelei), şi nu pe blocuri de lungime fixă, se asigură o flexibilitate şi eficienţă mărită;
- pentru controlul fluxului foloseşte algoritmul de fereastră variabilă (*sliding window*);
- utilizează conceptul de date expres (*urgent data*), pentru implementarea transmisiei de date prioritare;
- asigură o deconectare ordonată (*graceful disconnect*); lipsa deconectărilor abrupte arată că toate problemele de comunicaţie sunt rezolvate, în arhitectură, de la acest nivel în sus nemaiavând decât probleme legate de aplicaţie, şi nu de comunicaţie.

Formatul antetului unui pachet TCP este ilustrat de figura 8.7, semnificaţia fiecărui câmp fiind prezentată în continuare:

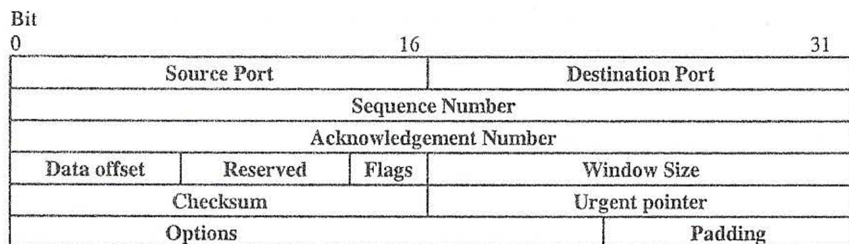


Figura 8.7 Structura pachetului TCP

Câmpurile **Source Port** şi **Destination Port**

Fiecare de câte 16 biţi, reprezintă numerele de porturi TCP pentru sursa şi respectiv destinaţia transmisiei. Ele se asociază punctelor de capăt ale comunicaţiei (*communication end points*). Numărul de port, împreună cu identificatorul de reţea şi identificatorul de host, determină complet punctul de capăt al comunicaţiei sau **socketul**, cum este cunoscut în terminologia **UNIX**. Un host poate stabili mai multe conexiuni TCP, teoretic 65.535. Dintre aceste numere de port, unele sunt asociate (prealocate) unor aplicaţii comune, precum **telnet**, **ftp**; de aceea aceste porturi se mai numesc **well-known port number** (un extract din lista numerelor de porturi fixate este dată de tabelul 8.2).

Nume serviciu	Număr port
echo	7
Discard	9
Daytime	13
quote	17
ftp	21
Telnet	23
login	513
shell	514

Tabelul 8.2 Tipuri de serviciu

Câmpurile **Sequence number** şi **Acknowledgement number**

Reprezintă poziţia datelor din prezentul pachet în fluxul de date schimbat pe conexiune. La iniţierea conexiunii TCP, fiecare partener generează numere iniţiale de secvenţă, cunoscute reciproc şi nerepetabile în timpul acelei conexiuni. Câmpul **Sequence number** (numărul de secvenţă) reprezintă poziţia primului byte de date al pachetului în secvenţa de transmisie. Câmpul **Acknowledgement number** (numărul de achitare) este

tot un număr de secvenţă, folosit de tehnica de achitare **piggybacking** pentru transmisia din direcţia opusă, reprezentând numărul de secvenţă al primului octet pe care emiţătorul (identificat de portul sursă) se aşteaptă să-l primească din direcţia opusă.

Data offset

Este un câmp ce conţine lungimea în cuvinte de 32 de biţi a antetului TCP, fiind folosit pentru determinarea startului datelor propriu-zise.

Flags (indicatorii)

Reprezintă biţi folosiţi pentru validarea anumitor acţiuni ale protocolului. Sunt descrişi sintetic prin tabelul 8.3.

Nume	Semnificaţie
URG	Pointerul din câmpul **Urgent Pointer** este valid
ACK	Numărul de achitare (**Acknowledgement number**) este valid
PSH	Datele acestui bloc (segment) trebuie trecute imediat aplicaţiei; o achitare a acestui segment semnifică că toate datele precedent transmise au fost primite de partener
RST	Resetarea conexiunii sau răspuns la un segment invalid
SYN	Cerere de stabilire a conexiunii; se aşteaptă achitare
FIN	Terminarea activităţii la un capăt al conexiunii; se aşteaptă achitarea

Tabelul 8.3 Indicatori TCP

Câmpul **Window size**

Conţine numărul de octeţi pe care receptorul îi poate primi în buffer-ele sale de date (fereastra de recepţie). Dimensiunea maximă a ferestrei de recepţie depinde de implementare, iar dimensiunea optimă în cursul transmisiei este subiectul unor algoritmi.

Checksum (suma de control)

Este calculată după algoritmul de la protocolul IP (calculul complementului faţă de 1) şi ea se aplică tuturor câmpurilor unui pachet TCP (antet şi date), inclusiv asupra unor câmpuri speciale ce alcătuiesc un pseudo-antet (*TCP pseudo header*). Aceste câmpuri livrate de protocolul IP către TCP alături de segmentul de date, au ca rol să prevină o incorectă dirijare IP.

Urgent pointer

Este un câmp ce adresează un octet de date, şi anume începutul zonei de date urgente sau prioritare, folosite pentru transmiterea cu prioritate a anumitor mesaje (de obicei de lungime restricţionată).

Câmpurile **Options** şi **Padding**

Au semantica identică cu cele din pachetul IP.

Protocolul TCP, având o complexitate ridicată, are nevoie pentru implementarea operaţiilor de control, de diverşi algoritmi şi ceasuri de control (*timers*). Dintre perioadele de time-out folosite, amintim aici:

- perioada retransmisiei (*retransmission timeout*), perioadă de timp între emiterea unui pachet TCP şi receptarea achitării sale;
- interval pentru asigurarea persistenţei conexiunii TCP (*persistence timer*).

De asemenea se folosesc (pentru implementările TCP) o serie de algoritmi pentru mărirea eficienţei, cum ar fi: prevenirea transmiterii de pachete TCP de mici dimensiuni, eliberarea 'grăbită' a ferestrei de recepţie, start întârziat pentru evitarea congestiei.

8.1.9. Protocolul UDP

Protocolul **UDP** (*User Datagram Protocol*) este tot un protocol la nivel **Transport**, într-un fel varianta 'alternativă' a protocolului TCP. Este un protocol foarte simplu, orientat pe datagrame, fără control de flux sau secvenţiere şi cu suma de control opţională; este specificat prin RFC 768, şi prezintă adresa transport 17 (către IP). Formatul antetului UDP este ilustrat de tabelul 8.8.

0	16 31
Source port number	Destination port number
Length	(Checksum)

Figura 8.8 Antetul UDP

Numerele porturilor sursă şi destinaţie (**Source port number**, **Destination port number**) au aceeaşi semnificaţie precum la TCP.

Câmpul de lungime (**Length**)
Specifică lungimea în cuvinte de 32 de biţi a întregii datagrame.

Câmpul sumei de control (**Checksum**)
Este opţional şi acoperă, precum la TCP, antetul UDP, câmpurile de date şi pseudo-antetul.

8.1.10. Principalele aplicaţii în reţelele TCP/IP

Se prezintă pe scurt principalele tipuri de aplicaţii în reţelele TCP/IP, şi pentru fiecare aplicaţie se enumeră cele mai cunoscute implementări. Detaliile necesare se pot obţine prin consultarea bibliografiei de la sfârşitul cărţii.

Accesul la distanţă

Accesul la distanţă, la un calculator legat la reţea (localizat oriunde), se face sub forma unei sesiuni de la terminal (pentru această acţiune se mai întâlnesc terminologiile **remote login** şi **virtual terminal**). Protocolul cel mai cunoscut este **Telnet**, specificat prin RFC 854. O sesiune **telnet** implică deschiderea unei conexiuni între terminal (sau maşina locală) şi calculatorul depărtat, legat la reţea; de aceea numele maşinii la distanţă trebuie să fie cunoscut şi prezent ca parametru al comenzilor **telnet**. Din momentul conectării, toate acţiunile desfăşurate la terminal sunt legate de acţiunile de la calculatorul depărtat. Conexiunea se desface de către utilizator şi se revine în contextul maşinii locale.

Orice implementare **telnet** trebuie să cuprindă emulatoare pentru terminalele cele mai diverse (IBM 3270, Digital VT100, etc.).

Procesoarele Berkeley UNIX încorporează comanda **rlogin**, cu o funcţionalitate analogă.

Transferul de fişiere

Aplicaţia de acest tip este una dintre cele mai comune, alături de transmisia mesajelor prin poşta electronică oferind serviciile cele mai solicitate de marea masă a utilizatorilor de reţele. Principala implementare existentă, **FTP** (*File Transfer Protocol*), descris de RFC 959, este una dintre cele mai vechi, dar răspunde încă tuturor cerinţelor ivite pentru transferul fişierelor între calculatoare. Complexitatea protocolului **FTP** constă în modalităţile multiple oferite pentru manipularea fişierelor şi a structurilor de fişiere, lucrul cu fişiere cu structuri diferite (ASCII, binare, comprimate, necomprimate) şi a conversiei necesare. Protocolul oferă şi elemente de securitate, prin necesitatea cunoaşterii de către utilizator a parolei valide (mai corect a unui cont valid) pe calculatorul 'depărtat', cu care doreşte să facă transferul de fişiere. Pentru a accesa bazele de date publice fără a avea un cont, se oferă serviciul **FTP Anonymous**, însă impunându-se restricţii suplimentare.

O variantă simplificată, folosită de utilizatori mai ales pentru aducerea de aplicaţii software (*downline loading*), este **TFTP** (*Trivial FTP*), dat de RFC 783. El este mai rapid, folosind ca suport de transport datagrame UDP şi implementează doar un subset dintre serviciile FTP (nu este posibilă de exemplu parcurgerea ierarhiei de directoare a calculatorului la distanţă).

Poşta electronică

Protocolul pentru transferul de poştă electronică între utilizatorii Internet, **SMTP** (*Simple Mail Transfer Protocol*), dat de RFC 821, este probabil cel mai utilizat. Fiecare utilizator, fie el expeditor sau destinatar al poştei, este identificat printr-o sintaxă de forma:

nume_utilizator@nume_staţie

Primul câmp **nume_utilizator** corespunde de obicei cu numele de login, iar al doilea câmp din sintaxă se supune RFC 822, convenţiilor **DNS** (*Domain Name Server* - o bază de date distribuită pentru gestionarea corespondenţei între nume de staţii şi adresele lor IP). De remarcat că pentru a se trimite poştă unui utilizator nu este nevoie de a se cunoaşte contul său (**nume_login** şi **parolă**), dar securitatea procesului este asigurată prin faptul că acel utilizator este înştiinţat despre sosirea şi conţinutul poştei, putând decide dacă este cazul sau nu să deschidă acele fişiere.

Sistemele de fişiere

Specific lucrului cu fişiere în reţea este faptul că mai mulţi utilizatori (clienţi), folosesc în comun un sistem de fişiere, aflat pe un calculator (staţie), numit server, sau mai exact **file-server**. Pentru comunitatea Internet, sistemele de fişiere cele mai răspândite sunt **SUN/NFS** şi **Netbios**.

Sistemul de fişiere pentru reţea, **NFS** (*Network File System*), elaborat de **Sun Microsystems** şi adoptat de comunitatea UNIX, este foarte răspândit, mai ales în lumea academică.

De o largă utilizare în lumea calculatoarelor personale se bucură sistemul de fişiere distribuit **Netbios**.

Aplicaţii pentru căutarea de informaţii

Aplicaţiile de tip **NIR** (*Network Information Retrieval*) oferă servicii pentru explorarea reţelei într-un mod uniform şi intuitiv, pentru căutare în bazele de date, pentru căutarea informaţiilor despre utilizatori sau calculatoare, şi multe altele; sunt aplicaţii distribuite, care permit accesul la o amplă cantitate de informaţie răspândită pe tot globul, într-un mod simplu, având la îndemână o interfaţă prietenoasă, unele bazate pe servicii de tip hipertext. Aceste aplicaţii sunt proiectate pentru a pune la îndemâna tuturor, instrumentele necesare pentru utilizarea resurselor Internet (pot fi denumite şi *network resource tools*), şi pentru aceasta sunt printre cele mai răspândite aplicaţii, având chiar un impact social.

Aceste instrumente pentru utilizarea resurselor reţelelor sunt în permanentă dezvoltare şi au o dinamică deosebită, fiind un domeniu foarte 'cald'. Dintre aceste aplicaţii se enumeră cele mai importante, împreună cu implementările reprezentative; unele implementări îndeplinesc funcţii aferente diverselor tipuri de aplicaţii, dar se amintesc acolo unde se încadrează cu prioritate:

- **explorarea reţelelor**, prin instrumente precum Gopher, WWW (*World-Wide Web*);
- **căutarea în baze de date**, prin WAIS (*Wide Area Information Server*);
- **găsirea de resurse pe reţea**, prin Archie, Hytelnet;
- **găsirea de utilizatori şi calculatoare**, prin Whois, X.500, Netfind.

Gestionarea reţelelor TCP/IP

SNMP (*Simple Network Management Protocol*) este un protocol dezvoltat pentru a se asigura getionarea resurselor reţelelor bazate pe TCP/IP; nu este un protocol aşa de simplu cum s-a dorit, propunându-se chiar un nou nume Medium Network Management Protocol.

SNMP foloseşte protocolul UDP pentru transportul rapid al datelor privind starea aparatelor din reţeaua gestionată către un centru de gestionare (staţia de gestionare), sau al datelor ce modifică anumiţi parametri ai staţiilor din reţea. Ca elemente principale ale protocolului amintim aici:

- staţia de management;
- staţiile agent;
- baza cu informaţiile de management (**MIB** - *Management Information Base*);
- protocolul de management.

Aplicaţii grafice

Dintre aplicaţiile grafice de reţea amintesc aici sistemul **X-Window**, un software de reţea de tip client-server, ce permite unui program client să vizualizeze date grafice ale unei alte staţii din reţea, ce constituie serverul grafic. Datele sunt vizualizate prin intermediul unor ferestre de vizualizare. Se furnizează astfel programelor de aplicaţie un mediu independent atât de particularităţile staţiilor de lucru utilizate, cât şi de cele ale reţelei pe care se execută (reţeaua este transparentă).

8.2. Arhitectura unei reţele OSI

Organizaţia de standardizare ISO a elaborat modelul abstract al interconectării sistemelor deschise (modelul ISO OSI) la mijlocul anilor '80, dar abia dupa zece ani a apărut o reţea înzestrată cu ierarhia de protocoale în totalitate conformă cu standardul. Se poate spune că succesul implementării este încă foarte redus. Arhitectura unei reţele OSI este ilustrată de figura 8.9, iar o stivă de posibile protocoale standard folosite este dată de tabelul 8.4.

ASN.1	CMIP	DS	FTAM	MHS	VTP
	ACSE, ROSE, RTSE				
	Prezentare				
Sesiune					
Transport					
Rețea					
Legătură date					
Fizic					

Figura 8.9 Ierarhia OSI

Nivel	Standarde
Aplicație	ISO 8572 - Protocol acces, transfer și gestiune fișiere FTAM ISO 8832 - Protocol gestiune lucrări ISO 9041 - Protocol terminal virtual VT CCITT X.400 - Poșta electronică CCITT X.500 - Serviciul de directoare
Prezentare	ISO 8823 - Protocol prezentare orientat pe conexiune ISO 9576 - Protocol prezentare neorientat pe conexiune ISO 8824 - Specificare limbaj ASN.1
Sesiune	ISO 8327 - Protocol sesiune orientat pe conexiune ISO 9548 - Protocol sesiune neorientat pe conexiune
Transport	ISO 8073 - Protocol transport orientat pe conexiune ISO 8802 - Protocol transport neorientat pe conexiune
Rețea	CCITT X.25 - Protocol nivel 3 (nivel pachet) ISO 8473 – Protocol interconectare neorientat pe conexiune
Legătură date	CCITT X.25 LAPB - Protocol nivel 2 (legătură de date) ISO 8802.x – Protocoale control legătură logică și acces la mediu (CSMA/CD, Token bus, Token ring, DQDB, ...) ISO 9314 – FDDI - Protocol pentru inel de fibră optică
Fizic	CCITT X.21 - Protocol interfață digitală CCITT X.21bis - Protocol interfață analogică ISO 8802.x – Protocoalele LAN la nivel Fizic

Tabelul 8.4 Standardizarea în domeniul protocoalelor

Protocoalele acceptate de rețelele OSI la nivelele inferioare, respectiv la nivelele **Fizic** și **Legătură de date** sunt cele universal acceptate de orice tip de rețea de calculatoare, și au făcut obiectul descrierii din această carte.

Astfel, la nivel **Fizic** se standardizează atât protocoalele pentru transmisia analogică, prin protocolul CCITT X21bis, cât și cel pentru transmisia digitală, prin protocolul CCITT X21. Ele au fost prezentate de capitolul 7. De asemenea toate specificațiile pentru nivelul **Fizic** realizate de protocoalele pentru rețelele locale

IEEE 802.x (standardizate și de ISO prin setul 8802.x) sunt valabile aici.

La nivelul **Legăturii de date** se prevede folosirea protocoalelor IEEE 802.x aferente subnivelelor LLC și MAC, dar și a nivelului 2, procedura LAPB din standardul CCITT X.25, deci având la bază protocolul HDLC, descris de capitolul 7.

La nivelul al treilea, nivelul **Rețea**, se standardizează (standardul ISO 8348, pentru definirea serviciilor la nivel **Rețea** - *Network Service Definition*) două tipuri de servicii:

- Servicii bazate pe conexiune (**CONS** - *Connection-mode Network Service*), aferente protocolului la nivel pachet PLP din standardul X.25; descrierea este dată de standardele:
  - ISO 8208, care prezintă **definirea** protocolului PLP pentru un echipament DTE (versiunea ISO a standardului CCITT X.25);
  - ISO 8878, pentru **folosirea** protocolului în realizarea unui serviciu la nivel **Rețea** orientat pe conexiune.
- Servicii nebazate pe conexiune (**CLNS** – *Connectionless-mode Network Service*), descrise de standardele:
  - ISO 8473, ce descrie modul de transport al datelor în modalitate neconexă (echivalentul OSI pentru protocolul IP);
  - ISO 9542, numit și ES-IS, descrie schimbul de informații între sisteme terminale și sisteme intermediare dintr-o rețea, pentru realizarea dirijării în modalitate neconexă;
  - ISO 10589, numit și IS-IS, se ocupă de schimbul de informații între sistemele intermediare pentru realizarea dirijării;
  - ISO 10747, numit și **IDRP** (*Inter Domain Routing Protocol*), descrie schimbul de informații între rutere din domenii diferite.

Rețeaua OSI are o structură ierarhică, ilustrată de figura 8.10.

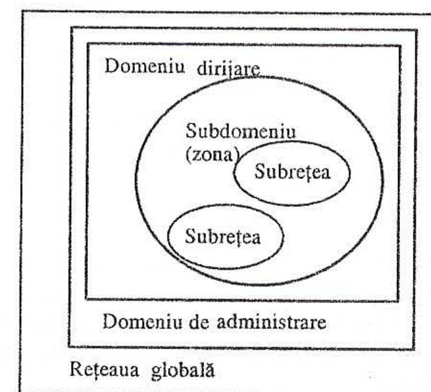


Figura 8.10
Structura ierarhică a rețelei

O rețea OSI este constituită dintr-un ansamblu de **domenii** (echivalente cu sistemele autonome de la rețelele TCP/IP), fiecare domeniu fiind alcătuit din **arii** (subdomenii), interconectate prin sisteme intermediare inter-arii, ariile fiind compuse la rândul lor din sisteme terminale ES și sisteme intermediare intra-arii. Structura este foarte asemănătoare cu cea propusă de protocoalele de dirijare ierarhică de la rețelele TCP/IP, fapt observabil și la nivelul adresării folosite la acest nivel.

La nivel **Rețea**, o adresă OSI poartă denumirea de adresă **NSAP** (*Network Service Access Point*) sau adresă NET și este formată din până la 20 de octeți. Un sistem intermediar (un 'ruter' OSI) vede adresa compusă din următoarele câmpuri:

- câmpul **Area** conține adresa ariei din ierarhie unde se găsește sistemul terminal adresat;
- câmpul **Node ID** poartă adresa fizică a sistemului ES în interiorul subrețelei fizice (adresa MAC a unei stații dintr-o rețea locală, de exemplu);
- câmpul **SEL** identifică protocolul de la nivelul **Transport** care folosește serviciile nivelului **Rețea**; sunt permise astfel mai multor tipuri de protocoale transport să folosească serviciile nivelului **Rețea** OSI; dacă valoarea acestui câmp este 00, se indică nivelul **Rețea** însuși, deci adresa semnifică acum exact adresa unui punct de acces la servicii la nivel **Rețea** NSAP.

Adresele OSI sunt garantate a fi univoce, fiind asignate de organismul internațional. Pentru aceasta, adresa NSAP se împarte în subcâmpuri. O primă împărțire este în subcâmpurile **IDP** (*Initial Domain Part*) și **DSP** (*Domain Specific Part*), urmând apoi fragmentarea în câmpuri care definesc autoritatea care gestionează adresarea, locul său la nivel național, etc.

După tipurile serviciilor oferite la nivel **Rețea**, rețelele OSI se împart în trei clase:

- **tip A**, ce oferă o rată acceptabilă de erori reziduale și erori semnalate nivelelor superioare;
- **tip B**, ce oferă servicii cu o rată acceptabilă de erori reziduale, dar inacceptabilă de erori semnalate;
- **tip C**, rețea cu rate de erori inacceptabile.

În funcție de această clasificare, se poate prevedea complexitatea protocolului de nivel **Transport** de deasupra.

Nivelul **Transport** prevede, prin standardele aferente, posibilitatea definirii de servicii bazate sau nu pe conexiune, după cum este tipul nivelului inferior **Rețea**. Scopul final însă este transportul datelor de la un capăt la altul într-un mod sigur și eficace.

Standardele ISO 8072 și 8073 definesc serviciile și protocolul orientat pe conexiune la nivel **Transport**. Sunt definite cinci clase de protocoale la nivel **Transport**, numite:

- clasa **TP0**, un protocol de clasă simplă, bazat pe nivel **Rețea** de tip A, îndeplinind funcții de gestionare a conexiunii, de fragmentare/ reasamblare a pachetelor, nefiind preocupat de gestionarea erorii sau fluxului;
- clasa **TP1**, este o dezvoltare a lui TP0, se bazează pe rețele de tip B și adaugă caracteristica de acoperire a erorilor de bază;
- clasa **TP2** adaugă caracteristica de multiplexare a conexiunilor de nivel **Transport** pe o conexiune rețea; caracteristica este utilă pentru rețelele publice cu comutare de pachete, ce oferă un număr limitat de circuite virtuale;
- clasa **TP3** a fost dezvoltată ca o unificare a caracteristicilor claselor TP1 și TP2;
- clasa **TP4**, bazată pe rețea de tip C, este cea mai complexă, fiind comparabilă cu protocolul TCP din ierarhia TCP/IP și oferă caracteristicile necesare unui protocol la nivel **Transport** pentru rezolvarea tuturor problemelor de comunicație (tratarea erorilor, controlul fluxului, revenirea din eroare, multiplexarea conexiunilor, segmentarea pachetelor, etc.).

Nivelul **Sesiune** este responsabil de organizarea dialogului între două aplicații și de schimbul corespunzător de date. Protocolul la acest nivel, precum cel orientat pe conexiune, definit prin perechea de standarde ISO 8326 și 8327, are de gestionat dialogul între entitățile aplicație, fie dialog bidirecțional, fie unidirecțional, gestionat prin metode bazate pe hand-shaking sau token, și de asemenea gestionează sincronizarea, prin introducerea de puncte de sincronizare, care să reducă cantitatea de date retransmise în caz de eroare.

Nivelul **Prezentare**, definit prin standardele ISO 8822 (definirea serviciilor) și 8823 (protocolul efectiv la nivel **Prezentare**, orientat pe conexiune), gestionează sintaxa de transfer a datelor. Standardul definește trei tipuri de sintaxe:

- *sintaxa abstractă*, care prevede definirea formală a datelor, precum sintaxa ASN.1 sau cea dată de standardul ISO 8824;
- *sintaxa concretă locală*, folosită în reprezentarea locală a datelor;
- *sintaxa de transfer*, sau codificarea datelor în timpul transportului.

Tot la acest nivel s-au adăugat în timp standardele necesare asigurării schimbului sigur, eficient, în condiții de securitate a informației: protocoale de criptare, de compresie, de autentificare a datelor.

Nivelul **Aplicație** include o gamă largă de aplicații utilizator. Cele mai folosite, aplicațiile de bază, sunt standardizate. Pe lângă acestea, nivelul cuprinde

aplicații dedicate facilitării comunicării între o aplicație generală și protocoalele de la nivelele inferioare; cum arată și figura 8.9, se asigură un fel de interfață comună între aplicațiile utilizator și nivelele inferioare.

Acestea sunt:

- **ACSE** (*Association Control Service Element*), furnizând conexiunile (asocierile) necesare între numele care sunt folosite în comunicarea de tip aplicație-la-aplicație;
- **ROSE** (*Remote Operation Service Element*), implementând un mecanism de interacțiune similar cu apelul de procedură la distanță **RPC** (*Remote Procedure Call*);
- **RTSE** (*Reliable Transfer Service Element*), gândit pentru îmbunătățirea transmisiei.

Cele mai cunoscute aplicații sunt standardizate prin următoarele documente:

- **ISO 9040 și 9041** definesc serviciile și protocolul de terminal virtual **VTP** (*Virtual Terminal Protocol*); este similar cu Telnet, având ca rol furnizarea unui model de terminal virtual, bază pentru emularea terminalelor reale;
- **ISO 8571 și 8572** definesc serviciile și protocolul pentru lucrul cu fișiere **FTAM** (*File Transfer, Access and Management*); este mai complex decât FTP, oferind un file-server virtual, bază pentru implementarea celui fizic;
- **ISO 8831 și 8832** definesc transferul activităților **JTM** (*Job Transfer and Manipulation*);
- **X.400** definește protocolul pentru poșta electronică **MHS** (*Message Handling System*), mult prea complicat și stufos pentru aplicațiile obișnuite;
- **X.500** definește serviciile de cataloage **DS** (*Directory Service*); modelează o bază de date globală distribuită, cu o adresare de tip 'poștal'; este un standard folosit și de rețelele TCP/IP.

8.3. IPv6

Necesitatea unei noi versiuni IP

În necesitatea apariției unei noi versiuni ale protocolului IP conduc mai multe condiții. Prima dintre ele și cea mai importantă este aceea a epuizării spațiului de adrese IPv4. A doua este necesitatea asigurării unui mecanism de securitate fiabil și viabil iar nu în ultimul rând revenirea la modelul inițial de conectivitate globală fără interpuși.

Eforturile depuse pentru încetinirea vitezei de consum ale adreselor IPv4 de tip public au avut un real succes dar nu pot stopa acest fenomen. Prin utilizarea adreselor IP private și NAT și renunțarea la clasele de adrese deznodământul a fot amânat dar nu poate fi evitat. Înmulțirea utilizatorilor Internet și apariția de tot mai multe dispozitive ce necesită adrese publice și de dispozitive cu cerințe de conexiune directă limitează aceste eforturi. Răspunsul la aceste cerințe este protocolul de nivel 3 rețea IPv6 denumit la începuturi IPng (New Generation).

Ce s-a întâmplat cu IPv5?

IPv5 este un protocol experimental care a intenționat să ofere QoS și definit ca Internet Stream Protocoll sau ST. Acesta nu este un înlocuitor al IPv4 dar utilizează câmpul versiune cu valoarea 5 și același sistem de pachete ca și IP. ST este definit în RFC 1190 iar ST2+ în RFC 1819. Nici unul din aceste protocoale nu au fost pe larg utilizate, pentru scopul pentru care au fost definite se folosește în prezent RSVP (ReSource reseVation Protocoll).

Evoluția IPv6

Protocolul inițial denumit IPng este descris în RFC 1752. Acesta a fost urmat în 1995 de RFC 1883 cu specificații îmbunătățite. În prezent standardul IPv6 în vigoare este dat de RFC 2460.

Funcționalitate și Beneficii aduse de IPv6

- Spațiu de adrese mai mare, conectivitate globală și scalabilitate.
- Eficiență în manipulare prin simplificarea antetului.
- Structură multi-ierarhică a adreselor pentru simplificarea rutării.
- Suportat de mai multe protocoale de rutare: RIPv6, OSPv3, IS-IS și BGP4+ .
- Autoconfigurare fără server și suport plug&play.
- Eliminarea NAT și aplicații de tip proxy.
- Sistem de securitate nativ IPSec.
- Suport pentru IP mobil și dispozitive mobile.
- Număr mai mare de adrese multicast.

Spațiul de adrese și antetul IPv6

O adresă IPv6 este compusă din 128 de biți ceea ce permite un număr de aproximativ $3{,}4*10^{38}$ de adrese sau peste 10^{28} de adrese pentru fiecare pământean.

O adresă IPv6 este de forma

XXXX:XXXX:XXXX:XXXX:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx unde XXXX sau xxxx = 0000 la FFFF. Notația se face în baza de numerotație 16 pentru simplitate.

Primii 64 de biți, XXXX, ai adresei formează partea de prefix al rețelei iar ultimii 64 de biți, xxxx, sunt identificatorul de interfață (Interface ID).

Antetul IPv6 are următoare structură:

Versiune 4 biți (6)	Clasă Trafic 8 biți	Etichetă Flux 20 biți	
Lungime date inclusiv antete opționale 16 biți		Următorul antet 8 biți	Limită hopuri 8 biți
Adresă Sursă 128 de biți			
Adresă Destinație 128 de biți			

Figura 8.11 Structura antetului IPv6

Pentru încadrare antetul este prezentat la aliniere de 32 de biți el este gândit cu aliniere la 64 de biți pentru a eficientiza prelucrarea prin noile procesoare de 64 de biți.

Semnificația câmpurilor din antet

Versiune(Version) = 6, indică versiunea IP

Clasă trafic(Traffic Class) este utilizat pentru a diferenția priorități, valoarea default este 0. Interfața IPv6 trebuie să permită protocoalelor de nivel superior să seteze această valoare. Nodurile care nu pot interpreta valorile non 0 vor lăsa câmpul neschimbat. Cele care pot interpreta valorile non 0 pot schimba valoarea acestui câmp conform utilizării proprii. Protocoalele de nivel superior care setează acest câmp nu trebuie să se aștepte ca vor primi pachete cu aceeași valoare a acestui câmp setate în pachetele trimise.

Etichetă flux (Flow Label) poate fi utilizat pentru a cere tratament special QoS sau timp real pentru un anumit trafic. Poate fi setat de sursă și rămâne neschimbat în nodurile intermediare. Nodul destinație poate ignora acest câmp.

Lungime date(Payload Lenght) este un număr fără semn care conține lungimea de date, inclusiv antetele opționale ale pachetului IPv6 în octeți.

Limită hopuri(Hop Limit) întreg fără semn care este decrementat cu 1 în fiecare nod intermediar. Un pachet cu Hop Limit =0 nu este distrus.

Următorul antet (Next Header) întreg pe 8 biți precizează tipul următorului antet conform RFC 1700 și succesiunea acestuia. Următorul antet precizează dacă urmează un antet opțional sau antetul TCP.

Adresă sursă și destinație (Source and Destination Address) întregi pe 128 de biți reprezentând adresele nodului sursă respectiv destinație în format IPv6.

De observat că lipsesc câteva câmpuri din antetul IPv4 cum ar fi Suma de Control, Identificatorul de pachet și câmpul de flaguri. Suma de control a fost

eliminată pentru ușurarea prelucrării pachetului IPv6 în nodurile intermediare. Protocoalele de Nivel 2 calculează oricum o sumă de control pentru cadrele trimise și verifică corectitudinea cadrelor recepționate. Restul câmpurilor nu mai sunt necesare deoarece IPv6 nu mai permite fragmentarea pachetelor în nodurile intermediare ci trebuie făcută în cazuri extreme de nodul sursă utilizând unul din antetele opționale disponibile.

O cerință a IPv6 este ca orice legătură de date să suporte un MTU de minim 1280 octeți. Orice legătură care nu suportă cadre de această lungime trebuie să reasambleze cadrele într-un mod transparent pentru IPv6.

Toate opțiunile în afară de opțiunea de rutare sunt examinate și procesate doar de nodul destinație.

Un exemplu de utilizare a antetelor opționale poate fi văzut în figura următoare :

Antet IPv6 NextHeader=TCP	Antet TCP+ Date		
Antet IPv6 NextHeader= Routing	Antet Routing NextHeader=TCP	Antet TCP+ Date	
Antet IPv6 NextHeader= Routing	Antet Routing NextHeader=Fragment	Antet Fragmentare NextHeader=TCP	Fragment din Antet TCP+ Date

Figura 8.12 Utilizare antete opționale

Simplificare rutării prin adresarea ierarhică și prefixe

Prin dimensiunea spațiului de adrese acesta poate fi utilizat suboptimal. Prin utilizarea flexibilă a prefixelor organizațiile mari pot utiliza un singur prefix pentru toate adresele necesare. Structura multi-ierarhică permite diferite nivele de agregare a adreselor astfel ca un ISP să agregeze toate adresele clienților ei și să anunțe o singură adresă în Internetul IPv6.

Adresarea ierarhică permite reducerea dimensiunilor tabelelor de rutare și permite unui utilizator conexiuni la mai mulți ISP fără a perturba tabela de rutare globală.

Suport pentru mai multe protocoale de rutare.

RIPng descris în RFC 2080 este varianta IPv6 a RIPv2 și utilizează adresa de grup de multicast FF02::9 (All RIP router) ca destinație a mesajelor RIPng și IPv6 ca purtător al mesajelor RIPng.

OSPFv3 descris în RFC 2740 se deosebește de versiune OSPFv2, puternic IPv4 dependentă, prin faptul că permite procesarea pe link și nu numai per nod, instanțe multiple per link și folosește adrese Link-local ca adrese sursă.

Protocolul de rutare IS-IS a fost de asemenea extins pentru a suporta IPv6 utilizând mecanismele descrise în RFC 1195.

BGP4+ cu extensiile Multiprotocol este utilizat cu succes ca Exterior Gateway Protocoll pentru IPv6.

Autoconfigurare

Protocolul IPv6 conține facilități de autoconfigurare care asigură dobândirea unei adrese IPv6 globale de orice dispozitiv conectat în rețea fără a fi necesară nici o configurare manuală sau existența unui server DHCP. Un ruter va trimite pe legătura locală un mesaj de informare a prefixului global care poate fi preluat și combinat cu identificatorul de interfață pentru a genera o adresă IPv6 globală sau de site. Adresele locale de legătură se compun dintr-un prefix predefinit și același identificator de interfață care este derivat din adresa MAC a dispozitivului.

Adrese IPv6

Adresele IPv6 se notează sub forma:

2034:0000:1307:0000:0000:0865:1234:5678

sau comprimat

2034:0:0:1307:865:1234:5678

sau

2034::1307:865:1234:5678; :: poate fi utilizat pentru a înlocui un șir oarecare de 0 însă o singură dată într-un șir de adresă.

Tipuri de adrese IPv6

Unicast adresa unei singure interfețe

Anycast adresa unui set de interfețe care aparțin la noduri diferite. Un pachet trimis la o adresă anycast va fi trimis celui mai apropiat nod conform cu protocoalele de rutare în uz.

Mulicast adresa unui set de interfețe care tipic aparțin la noduri diferite. Un pachet trimis la o adresă multicast este transmis tuturor nodurilor asociate.

Nu există adrese de tip Broadcast.

Adrese IPv6 de tip Unicast

Adresele IPv6 de tip Unicast sunt de trei tipuri în funcție de scopul în care sunt folosite.

Adrese cu scop global pentru adresare globală. Acestea sunt de forma:

001	Prefix Rutare Global	Id Subrețea	Id Interfață
3 biți	45 de biți	16 biți	64 biți

Sau în notare prescurtată 2000::/3

Adrese cu scop site-local pentru adresare în cadrul unei organizații similar cu adresele IPv4 private.

1111 1110 11	0000...000	Id Subrețea	Id Interfață
10 biți	36 de biți	16 biți	64 biți

Sau în notare prescurtată FEC0::/10

Adrese cu scop link-local pentru adresare pe o legătură fizică.

1111 1110 10	0000...000	Id Subrețea	Id Interfață
10 biți	36 de biți	16 biți	64 biți

Sau în notare prescurtată FE80::/10

Adrese IPv6 de tip Multicast

1111 1111	Flag	Scop	Id Grup
8 biți	1 bit	7 biți	112 biți

Flag = 0 permanent, Flag =1 temporar
Scop:
1 local interfață
2 local link
3 local subnet
4 local admin
5 local site
6 local organizație
E global

Adrese IPv6 speciale

Adresă IPv6 nespecificată este de forma 0::0 și se utilizează ca adresă sursă în cazul configurării unui nod prin server DHCPv6.

Adresa de loopback este ::1.

Adrese IPv4 compatibile 0:0:0:0:0:0:192.168.32.1 sau ::192.168.32.1 sau ::C0A8:2001

Adrese IPv4 mapate ::FFFF:192.168.32.1

Formarea Identificatorului de interfață (Interface Id)

Identificatorul de interfață, cei mai puțin semnificativi 64 de biți ai adresei IPv6, se generează din cei 48 de biți ai adresei fizice a plăcii de rețea înserând 16 biți 0xFFFE între primii 3 și ultimii 3 octeți ai adresei fizice. Bitul 2 din primul octet va fi complementat din 0 în 1 pentru adrese ce sunt unice și rămân 0 pentru adrese neunice. Sunt considerate adrese fizice unice cele care provin di hardware-ul plăcii de rețea și neunice cele configurate software sau manual.

Adresă fizică = *0045:3456:ABCD*⇒

*0045:34***FF:FE***56:ABCD*⇒

*0245:34***FF:FE***56:ABCD* = Identificator de interfață

Pentru interfețele care nu au adresă fizică, de exemplu port serial, Identificatorul de interfață este derivat din identificatorul de rețea al plăcii de rețea prin modificarea celor doi octeți inserați. În cazul în care într-un dispozitiv nu există nici o placă de rețea cu adresă fizică identificatorul de interfață trebuie configurat manual.

9. REȚELELE LOCALE ȘI ATM

9.1. Introducere în ATM

9.1.1. Noțiuni introductive

Aplicațiile viitoare în domeniul comunicației prin intermediul rețelelor de calculatoare vor necesita o mai mare lățime de bandă și vor genera un amestec eterogen de trafic de date. Astfel, se va dori transmiterea pe același cablu (de fibră optică probabil), sub forma unui semnal integrat, la viteze de ordinul Giga biți/sec., a traficului de timp real (voce sau video de mare rezoluție), trafic ce suportă pierderi mici de informație dar nu întârzieri, cu trafic obișnuit pentru date (transfer de fișiere, acces la baze de date), trafic ce suportă anumită întârziere, dar nu admite pierderea de informație. Rețelele actuale nu pot susține această gamă de transport a unei diversități de trafic având cerințe specifice. **ATM** (*Asynchronous Transfer Mode*) se dovedește o tehnică potențial capabilă să suporte o varietate de clase de trafic (voce, video, date) într-o singură transmisie. Tehnologia ATM promite o bună integrare a posibilităților și serviciilor, un acces la rețea crescut și mai flexibil.

Din cele scrise până aici, am folosit pentru ATM diverse semnificații: tehnologie, tehnică. Rezultă întrebarea:

Ce este ATM, tehnologie, arhitectură, protocol, interfață?

ATM este văzută ca:

- *interfață*, proiectată pentru a comuta fluxuri de biți de rate constante sau variabile pe un mediu de comunicație comun, ca fibra optică (SONET, SDH, DQDB);
- *protocol*, întreaga stivă de protocoale pentru B-ISDN fiind referită prin ATM;
- *tehnologie*, conținând hardware și software necesare conformării cu protocoalele ATM; ea cuprinde comutatoare, hubs, multiplexoare, plăci de interfață, dar și software specific;
- *impact economic*, deoarece o rețea ATM integrează toate serviciile existente astăzi, iar prețul său nu poate fi decât mai mic față de cel pentru toate rețelele 'tradiționale' ce îndeplinesc aceste servicii;
- *infrastructură*, prin calitățile sale ATM realizând coloana vertebrală a unei viitoare și avansate rețele de comunicații;

- *furnizor de noi servicii*, precum video de mare rezoluţie, transfer de date multi-megabit.

Din punct de vedere istoric, nu se poate prezenta tehnologia ATM fără a cunoaşte opusul, şi anume tehnologia **STM** (*Synchronous Transfer Mode*), precum şi evoluţia reţelelor **ISDN** (*Integrated Services Digital Network*). Acestea au evoluat începând cu anii '80, iar ATM este strâns legat de varianta ISDN de bandă largă **B-ISDN** (*Broadband ISDN*).

Mecanismul STM, folosit de obicei de coloana vertebrală (*backbone*) a reţelelor ce transportă date pe distanţe lungi, este un mecanism bazat pe comutarea circuitelor, implicând realizarea unei conexiuni între nodurile (staţiile) comunicante, înaintea transmiterii efective a datelor. Pe această conexiune, staţiile comunicante au alocată banda de transmisie într-un mod static, sincron, lucru dezavantajos pentru un trafic neuniform, în rafale. Acest sincronism este realizat de alocarea unor cuante de timp (*time slots*), în cursul cărora staţiile au conexiunea dedicată; chiar dacă ele nu au de transmis pe acea perioadă, ele ocupă banda. Pentru un trafic în rafală, caracterizat prin perioade relativ scurte de transmisie, dar cu rate mari de transfer (necesar mare de bandă), rafale ce se repetă într-un mod asincron, acest mecanism sincron este total ineficient, de unde dezvoltarea aproape naturală a tehnicii complementare, ATM. Mecanismul ATM a fost propus iniţial de **Bellcore**, subsidiar al companiei **AT&T**, dar cercetări importante au dezvoltat şi giganţii europeni **Siemens, Philips**, etc., astfel că este pe cale să se producă două propuneri de standarde, unul american, altul european, cu mici diferenţe din fericire. Oricum, principiul de bază este comun, şi anume de a nu mai identifica conexiunea prin numărul cuantei de timp curente, ci de a genera cuante mai mici (practic de a genera pachete mici), care să poarte cu ele identificatorul conexiunii folosite. Pierderea unui astfel de pachet (celulă ATM) nu va afecta prea mult, sau va permite o recuperare (corectură) uşoară.

Reţeaua ISDN este definită ca o reţea ce permite o conectivitate digitală capăt la capăt şi oferă o gamă largă de servicii, incluzând voce sau video, servicii la care utilizatorii au acces printr-un set limitat de interfeţe standard. Una din aceste interfeţe standard a fost definită mai întâi şi este numită **acces de bază** (*base access*), conţinând două canale de date B (de bază) de 64kbps şi un canal D (16kbps) pentru semnalizări. S-a dezvoltat apoi alt tip de interfaţă, numită **acces de rată primară** (*primary rate access*), prevăzând o rată mai generoasă de date prin alocarea de canale H, de mare viteză (megabiţi pe secundă).

Dacă ISDN de bandă îngustă (*Narrow-ISDN*) oferă până la 64kbps, prin folosirea canalelor de mare viteză H, se ating vitezele de ordinul mega şi zecilor de mega biţi/s. ISDN în bandă largă, numit **B-ISDN** (*Broadband-ISDN*), se defineşte ca acel sistem care prevede canale cu viteze superioare ratei primare.

Recomandările ITU definesc sintetic posibilităţile B-ISDN:

B-ISDN prevede conexiuni comutate, permanente sau semi-permanente, punct la punct sau punct-multipunct şi asigură servicii rezervate sau permanente. Conexiunile B-ISDN prevăd servicii cu comutare de pachete sau de circuite, de tip mono sau multi media, în configuraţii uni sau bi-direcţionale, orientate sau nu pe conexiune.

În acest cadru, ATM este considerat modul de transfer pentru implementarea B-ISDN, mod de transfer semnificând aspectele de transmisie şi de comutare ale unei reţele ISDN.

Acest transport al datelor numerice (fie ele de tip continuu, precum cele legate de telefonie sau transmisie video, fie discontinuu, legate de transferul de fişiere, de exemplu), se va efectua pe o reţea constituită din noduri pentru comutare şi noduri terminale, cum ilustrează şi figura 9.1. Nodurile comutatoare sunt legate între ele prin legături punct-la-punct, formând reţeaua propriu-zisă, de o topologie de tip plasă (graf oarecare). Nodurile terminale sunt legate către nodurile comutatoare, în topologie stelară.

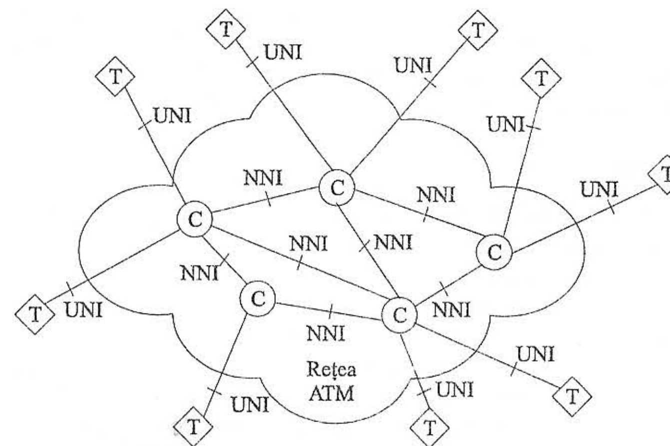


Figura 9.1 Tipurile de noduri

Interfaţa între comutator şi terminal se va numi interfaţa utilizator-reţea **UNI** (*User-to-Network Interface*), iar cea între două comutatoare din reţea se va numi **NNI** (*Network-to-Network Interface*).

ATM transportă tot traficul pe un flux de pachete de o dimensiune mică şi constantă, numite **celule**, fiecare celulă cuprinzând 5 octeţi de informaţie de control şi 48 de octeţi de informaţie utilă (*payload*). Raţiunea de a alege un pachet de dimensiune constantă este pentru a asigura ca funcţiile de comutare şi multiplexare să se desfăşoare cu rapiditate şi uşurinţă. ATM este o tehnologie orientată pe conexiune, în sensul că înainte ca două sisteme din reţea să

comunice, toate comutatoarele intermediare pe calea dintre ele trebuie să fie informate despre cerințele de serviciu și parametrii de trafic. Este ceva similar rețelelor telefonice unde se stabilește o cale fixă între cele două părți care comunică. În terminologia ATM, fiecare conexiune este denumită **circuit virtual** sau **canal virtual** (VC), deoarece permite ca fiecare legătură să fie împărțită de mai multe conexiuni ce folosesc acea legătură pe baza unei cereri și nu a unei alocări fixe. Conexiunile permit rețelei să garanteze calitatea serviciului (QoS), limitând numărul canalelor virtuale. În mod tipic, un utilizator declară cererile de serviciu înainte de stabilirea conexiunii, declară de asemenea parametrii de trafic și este de acord să controleze acești parametri în mod dinamic la cererea rețelei.

Istoria dimensiunii celulei ATM de 53 de octeți (puțin ciudată dimensiunea!), este un exemplu de cum trebuie împăcate două mari forțe, în acest caz organizațiile americane și cele europene de telecomunicații. Cele americane doreau o dimensiune de *payload* (partea utilă de date) de 64 de octeți, conform principiului că ea trebuie să fie putere a lui 2 și multiplu de 4, din considerente de management de memorie și adresare de intrare/ieșire. Partea europeană prefera dimensiunea de 32 bytes, deci s-a ales compromisul: 48bytes pentru payload. Cum informația de control nu trebuie să depășească 10% din cea utilă, a rezultat un antet de 5 octeți, deci în total 53 octeți pentru o celulă ATM!

Forumul ATM

Pentru a asigura obiectivele de accelerare a convergenței între cercetare, standarde și industrie, pentru prima dată în istoria domeniului rețelelor de comunicații și calculatoare, s-a constituit un consorțiu, numit **ATM Forum**, cuprinzând toate marile forțe din ramurile implicate. Se are în vedere asigurarea interoperabilității între implementările ATM publice și private, promovarea produselor și serviciilor ATM. Deși nu este o organizație de standardizare, ATM Forum cooperează cu **ITU** (*International Telecommunication Union*) și **IETF** (*Internet Engineering Task Force*) în dezvoltarea standardelor ATM. Constituit în 1991, consorțiul a evoluat având în prezent peste 700 de membri, constând în producători și vânzători de echipament și servicii, companii de software, organizații guvernamentale, laboratoare de cercetare și universități.

9.1.2. Modelul de referință ATM

Modelul de referință al unei rețele ATM este bazat pe standarde elaborate de ITU. Comunicațiile de la nivelele înalte sunt adaptate nivelelor inferioare, ale arhitecturii ATM, care transferă informația spre nivelul fizic pentru transmiterea sa într-un mediu fizic.

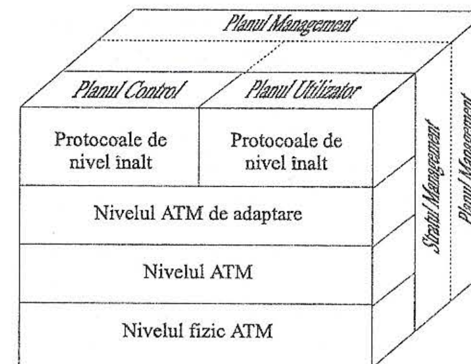


Figura 9.2 Modelul de referință ATM

Modelul de referință al protocoalelor ATM, numit **PRM** (*Protocol Reference Model*), este elaborat pe baza filozofiei *Core&Edge*, care în cazul acesta semnifică că efortul computațional (pentru controlul erorii, de exemplu) este efectuat numai la capetele conexiunilor (*edge*), lăsând rețelei (*core*) libertatea de a transmite fluxul de biți, prin intermediul unor comutatoare rapide și eficiente, degrevate de sarcina controlului transmisiei.

Modelul arhitectural cuprinde în esență următoarele nivele:

- AAL - nivelul ATM de adaptare (*ATM Adaptation Layer*);
- nivelul ATM;
- nivelul fizic.

El poate fi considerat tridimensional (cum ilustrează și figura 9.2), deoarece fiecare protocol poate fi considerat a se adresa la trei plane:

- planul utilizatorului (*User Plane*), pentru transportul datelor utilizator;
- planul de control al transmisiei (*Control Plane*), care se ocupă de transportul informației de semnalizare;
- planul de gestionare (*Management Plane*), care se ocupă de gestionarea nivelelor arhitecturale.

9.1.2.1. Nivelul ATM de adaptare

Nivelul ATM de adaptare **AAL** (*ATM Adaptation Level*) este nivelul de interfață al nivelului ATM propriu-zis cu straturile superioare ale stivei de protocoale (protocoalele de nivel înalt). Scopul principal al acestui nivel este de a separa aplicația de specificul ATM, de a oferi servicii utile oricărui tip de aplicație (de timp real sau nu, folosind serviciu de transmisie cu viteză constantă sau

variabilă, folosind servicii orientate pe conexiune sau nu). Într-un fel, nivelul AAL este echivalentul stratului **Transport** a stivei de protocoale OSI.

Nivelul este format din trei subnivele, şi anume:

- subnivelul de convergenţă (partea specifică aplicaţiei);
- subnivelul de convergenţă (partea comună);
- subnivelul de segmentare şi reasamblare (SAR).

Nivelul transmite structurile de date de la straturile superioare către stratul ATM şi vice-versa (se constituie ca o interfaţă pentru aplicaţie). La recepţionarea datelor de la nivelele superioare, nivelul de adaptare are rolul segmentării lor în celule ATM, iar la transmiterea de date către nivelele ierarhic superioare, stratul îndeplineşte funcţia inversă de reasamblare a celulelor în structuri de date cu informaţia utilă înţeleasă de straturile superioare. Această funcţie sau acest serviciu poartă numele de "segmentare şi reasamblare" (SAR). Generic, când un mesaj soseşte de la aplicaţie la AAL, subnivelul de convergenţă poate să-i adauge un antet şi/sau o încheiere (un sfârşit). Mesajul este apoi fragmentat în unităţi de 44-48 octeţi ce sunt transmişi subnivelului de segmentare/reasamblare (SAR). Subnivelul SAR poate să-i adauge propriul antet sau încheiere şi să-l transmită mai departe nivelului ATM pentru transmisie, sub forma unei celule independente. La recepţia unei celule de la nivelul ATM, nivelul AAL îndeplineşte funcţiile opuse.

Au fost propuse patru tipuri de nivel AAL, fiecare prevăzând un tip de trafic sau de serviciu aşteptat a fi utilizat de reţeaua ATM. Legătura între clasele de servicii şi tipurile de protocoale AAL sunt următoarele:

- **Clasa A** - oferă serviciu cu rată de biţi constantă (CBR); mai este numit şi AAL1. Constă într-un serviciu orientat pe conexiune în care rata de transmisie (rata de biţi) este constantă. Exemple pentru un astfel de serviciu ar fi transmisia vocii cu o rată de 64Kbps, transmisia la o rată fixă de video necompresat sau liniile închiriate pentru transmisii în reţelele private.
- **Clasa B** - serviciul cu rată de biţi variabilă (VBR), numit şi AAL2, permiţând o rată variabilă în cadrul unui serviciu orientat pe conexiune. Acest serviciu suferă din cauza unei întârzieri intrinseci necesare reconstrucţiei structurilor de date, ca de exemplu la transmisia pachetelor compresate purtând informaţie video sau audio.
- **Clasa C** - serviciul de date orientat pe conexiune, serviciu uzual cunoscut de la arhitecturile tradiţionale ISO OSI, pentru care o conexiune este stabilită înainte de transmiterea datelor. Serviciul are rata de transfer variabilă şi nu necesită întârziere minimă specificată pentru transmitere. Este un protocol complex, ca orice protocol orientat pe conexiune, iar codificarea sa este AAL3/4, datorită compunerii într-unul singur a două propuneri iniţiale. Mai răspândit este însă protocolul AAL5 pentru susţinerea acestor tipuri de servicii.
- **Clasa D** - serviciul de transfer de date fără conexiune, numit şi serviciul de datagrame, la care nu se setează o conexiune pentru transferul de date. Este un serviciu bine realizat de protocolul AAL5.

Deşi fiecare tip de nivel AAL este optimizat pentru un anumit tip de trafic, nu se stipulează în standard ca el să nu fie folosit pentru un altul. În realitate chiar mulţi vânzători de echipamente ATM preferă producerea de echipamente ce folosesc AAL5, care suportă orice clasă de trafic, acest protocol fiind preferat de ATM Forum pentru implementări.

O comparaţie sintetică a protocoalelor AAL este redată de tabelul următor:

Element	AAL1	AAL2	AAL3/4	AAL5
Clasa de serviciu	A	B	C/D	C/D
Delimitarea mesajelor	Nu	Nu	B/Etag	Bit PTI
Octeţi disponibili user	0	0	0	1
Octeţi SAR de payload	46-47	45	44	48
Supraîncărcare SAR	1-2	3	4	0
Sumă de control SAR	Nu	Nu	10bit	Nu
Multiplexare	Nu	Nu	Da	Nu
Alocare buffere în avans	Nu	Nu	Da	Nu

Tabelul 9.1 Comparaţie între protocoalele AAL

9.1.2.2. Nivelul ATM

Nivelul ATM prevede legătura între nivelele AAL şi **Fizic**. El realizează trecerea celulelor de la AAL spre nivelul **Fizic** în cazul transmisiei de date şi invers pentru recepţie (cazul sistemelor terminale - *end systems*). În acest ultim caz, nivelul ATM recepţionează fluxul de celule de la nivelul **Fizic** şi transmite către el fie celule cu date, dacă are ceva de transmis, fie celule fără conţinut util, dacă nu sunt date de transmis. Dacă este vorba de un nivel ATM ce face parte dintr-un echipament de comutare (*switch*), el determină dacă celulele care sosesc trebuie trimise mai departe (*forwarded*) şi dacă da, resetează identificatorii de conexiune şi înaintează celulele către legătura următoare. În plus, memorează pentru un timp celulele ce sosesc sau trebuie să părăsească switch-ul, şi chiar îndeplineşte diverse funcţii de gestionare (indică congestia, monitorizează rata de transmisie, conformanţa la serviciul de contract - politica de trafic). Este foarte important de notat că toate aceste funcţii ale nivelului ATM, concură la livrarea în ordine a celulelor ATM.

GFC	VPI	
VPI	VCI	
VCI		
VCI	PTI	CLP
HEC		
Payload		

Figura 9.3 Celula ATM UNI

VPI		
VPI	VCI	
VCI		
VCI	PTI	CLP
HEC		
Payload		

Figura 9.4 Celula ATM NNI

Câmpurile antetului unei celule ATM definesc funcţionalitatea nivelului. Formatul antetului celulelor ATM are două instanţe, una pentru folosirea în interfaţa utilizator-reţea **UNI** (*User-to-Network Interface*), iar cealaltă pentru uzul intern al reţelei, la interfaţa reţea spre nod **NNI** (*Network-to-Node Interface*).

În cazul interfeţei UNI, antetul conţine patru biţi alocaţi pentru o funcţie generică de control al fluxului **GFC**, utilizată iniţial pentru controlul traficului înspre reţea, prin aceasta UNI putând limita fluxul pe perioada congestiei. La NNI, acest câmp este folosit pentru identificatorul căii virtuale **VPI**.

Câmpurile **VPI** şi **VCI** (identificatorul circuitului virtual)

Formează împreună câmpul de dirijare (*routing*), care asociază fiecare celulă cu un canal sau circuit particular. **VCI** identifică un singur canal, iar **VPI** permite gruparea diferitelor căi virtuale şi tratarea lor ca o entitate. Cei doi identificatori au valabilitate pentru legătura locală; conţinutul câmpului generic de dirijare se va schimba odată cu trecerea celulei prin alte legături. În varianta formatului UNI, câmpul de dirijare conţine 24 de biţi şi astfel interfaţa poate suporta peste 16 milioane de sesiuni. La NNI, câmpul are 28 de biţi, permiţând peste 268 milioane de sesiuni care folosesc în comun legătura.

Câmpul **PTI** (identificator tip de date)

Este folosit pentru a face distincţie între celulele ce transportă

date utilizator şi cele ce conţin informaţie de control. Aceasta permite ca informaţia de control şi semnalizare să fie transmisă pe subcanale diferite de cele pentru date, separarea datelor utilizator de datele de control fiind unul din principiile ce şi-au dovedit valabilitatea. De aceea chiar şi la nivelul AAL, pentru AAL5 se încearcă aceasta.

Tabelul 9.2 specifică legătura între tipul informaţiei şi valoarea binară a câmpului:

Valoare câmp PTI	Semnificaţie
000	Celulă date utilizator, tip 0, fără congestie
001	Celulă date utilizator, tip 1, fără congestie
010	Celulă date utilizator, tip 0, cu congestie
011	Celulă date utilizator, tip 1, cu congestie
100	Info de întreţinere comutatoare vecine
101	Info întreţinere staţii
110	Celulă management resurse
111	Rezervat

Tabelul 9.2 Semnificaţia câmpului PTI

Câmpul **CLP** (prioritate pentru pierderi de celule)

Setat de utilizator, înzestrează reţeaua cu facilitatea de rejectare selectivă a celulelor. În acest fel, în caz de congestie vor fi rejectate (pierdute) celule de o prioritate redusă (cazul clasic este cel în care un transfer de date de tip fişier important nu poate permite pierderi de celule, deci implică retransmisii în caz de erori; pentru trafic ce transportă voce sau video, este permisă o rată minimală de pierderi).

Câmpul **HEC** (verificare eroare antet)

Este folosit pentru a reduce erorile în câmpurile antetului, erori ce pot produce o dirijare defectuoasă; câmpul este rezultatul unei verificări cu un CRC pe 8 biţi a întregului câmp de antet (nu şi a câmpului de date). Este o metodă de verificare ce detectează doar o eroare de un bit, dar este suficient mai ales pentru transmisiile pe fibră optică, unde rata de erori este de sub 10^{-10}.

Stabilirea conexiunii în cazul unui nivel ATM (nivel echivalat oarecum cu stratul OSI **Reţea**), ţine cont de faptul că nivelul suportă atât circuite virtuale permanente, cât şi circuite virtuale comutate.

Calea normală de stabilire a unei conexiuni (ATM este o tehnologie pentru B-ISDN!) ar fi achiziţionarea mai întâi a unui circuit virtual pentru

semnalizare. La succes, este deschis un nou circuit virtual pe care pot fi trimise şi primite cereri de stabilire a conexiunii şi răspunsuri. Mesajele uzuale folosite în stabilirea conexiunii, mesaje schimbate între gazdă şi reţea sunt prezentate sintetic în tabloul următor:

Mesaj	Semnificaţie pentru gazdă	Semnificaţie pentru reţea
Setup	Cerere stabilire circuit	Sosire apel pentru conexiune
Call Proceeding	Confirmarea apel sosit	Disponibil pentru conectare
Connect	Acceptare apel	Acceptare conexiune
Connect ACK	Achitare	Achitare
Release	Cerere deconectare	Indicarea de deconectare
Release Complete	Confirmare deconectare	Confirmare deconectare

Tabelul 9.3 Semnificaţia mesajelor de gestionare

9.1.2.3. Nivelul Fizic

Nivelul **Fizic** defineşte temporizarea asociată transmisiei unui flux opac de biţi (celulele sunt transportate pe o legătură SONET de exemplu, în anvelope **SPE** (*Synchronous Payload Enveloppe*)), tehnici de codare/decodare a informaţiei şi alte caracteristici ale formelor de undă de natură electrică sau optică care se propagă prin mediul fizic folosit. Mai mult, el prevede câteva funcţii de control, specifice însă mediului folosit. De exemplu în transmisiile pe fibră optică pe reţea **SONET** (*Synchronous Optical Network*), structura transmisiei este sincronă, fiind necesară formarea cadrelor (*framing*).

Se pare că din punctul de vedere al standardizării, cele mai mari reuşite prevăd la nivel **Fizic** standardul pentru transmisia pe fibră optică SONET, specificându-se transmisiile pentru o legătură SONET la 155.5Mbps, la 622Mbps sau la 2.4Gbps. Strâns legat de specificaţia pentru SONET, s-a răspândit termenul **SDH** (*Synchronous Digital Hierarchy*), standardizând transmisiile începând de la rata de 51.84Mbps, continuând cu transmisiile la rate mai mari, multiplu de această viteză (standardul STS-3 pentru viteza de 155.5Mbps este bazat pe STS-1 pentru 51.84Mbps, STS-12 este pentru o viteză multiplu de 12 al vitezei de bază, ş.a.m.d.).

La modul generic, nivelul **Fizic** se poate divide în două subnivele:

- subnivelul dependent de mediul fizic **PMD** (*Physical Medium Dependent*), care va asigura transmisia şi recepţia fluxului de biţi către/ de la mediul fizic folosit;

- subnivelul de convergenţă a transmisiei **TC** (*Transmission Convergence*), furnizând o interfaţă uniformă nivelului ATM, în ambele sensuri ale fluxului.

9.1.3. Gestionarea traficului

Pentru ca o reţea ATM să susţină o calitate garantată a serviciului, maximizând utilizarea resurselor reţelei, o gestionare eficientă a traficului este necesară, fiecare operaţie majoră precum semnalizările, dirijarea, politica de alocare a resurselor, conţinând mecanisme de management.

La setarea unei conexiuni într-o reţea ATM, utilizatorii pot specifica următorii parametri doriţi pentru calitatea serviciului (QoS):

- rata maximă de celule **PCR** (*Peak Cell Rate*), rata maximă instantanee la care se poate transmite; se poate defini ca inversul intervalului minim între celule;
- rata medie de celule **SCR** (*Sustained Cell Rate*), măsurată pentru un interval lung;
- raportul de pierdere a celulelor **CLR** (*Cell Loss Ratio*), este un procent al celulelor pierdute în reţea datorită erorilor sau congestiei; reprezintă procentual raportul între numărul de celule pierdute (neajunse la destinaţie) şi numărul total de celule transmise de sursă.

Fiecare celulă ATM are în antet un câmp de un bit ce denotă o prioritate (CLP), astfel încât în caz de congestie un switch ATM va rejecta mai întâi celulele cu CLP=1.

- întârzierea în transferul celulelor **CTD** (*Cell Transfer Delay*), reprezintă intervalul de timp scurs de la intrarea unei celule în reţea şi ieşirea sa; mărimea include întârzierea de propagare, întârzierea în elementele de comutare, etc.;
- variaţia întârzierii celulei **CDV** (*Cell Delay Variance*), mărime importantă pentru dimensionarea buffer-elor pentru trafic sensibil la întârziere, cum ar fi cel pentru voce sau video;
- toleranţa la rafală **BT** (*Burst Tolerance*), determină dimensiunea maximă a rafalei de date ce poate fi transmisă la rata de vârf; constituie o dimensiune maximă a "găleţii", ţinând cont că pentru controlul fluxului de intrare în reţeaua ATM se foloseşte de obicei algoritmul "găleţii găurite" (*leaky bucket*);
- rata minimă de celule **MCR** (*Minimum Cell Rate*), un parametru de "viteză minimă" pe magistrală, specificat de utilizator.

9.1.3.1. Contractul de trafic

Pentru oferirea unei calităţi garantate a serviciului, în timpul stabilirii conexiunii, se negociază între părţile cooperante un contract de trafic, prin definirea unui descriptor de trafic şi a unei definiri de conformanţă. Nu este necesar însă ca fiecare conexiune virtuală ATM să aibă specificată propriul QoS, deoarece condiţiile contractuale nu sunt întotdeauna atinse, iar pentru a nu irosi resurse în încercarea de a atinge performanţele stabilite iniţial, este adeseori suficientă comportarea cea mai bună posibilă (*"best-effort"*), majoritatea aplicaţiilor fiind bine realizate prin servicii de acest gen.

În general un contract de trafic specifică următoarele clase de trafic (categorii de servicii):

- Rata constantă de biţi **CBR** (*Constant Bit Rate*), clasă de trafic folosită în emularea comutării circuitelor (emularea firului de cupru sau a fibrei optice), unde rata de bit este constantă. Rata de pierdere CLR este specificată cu CLP=0.
- Rata variabilă de biţi **VBR** (*Variable Bit Rate*), permite transmisii la viteze diferite; se utilizează multiplexarea statistică şi se permit pierderi de celule, în proporţie aleatoare, dar mică. După cum aplicaţia este sau nu sensibilă la variaţia întârzierii celulelor, clasa se poate divide în două categorii: de timp real (VBR-RT) şi nu de timp real (VBR-NRT), doar prima categorie specificând CDV, ambele specificând însă CTD. Exemple semnificative pentru cele două tipuri de aplicaţie: video compresat interactiv pentru VBR-RT şi poşta electronică multimedia pentru a doua categorie.
- Rata de biţi disponibilă **ABR** (*Available Bit Rate*), clasa de trafic proiectată pentru transfer normal de date (transfer de fişiere, e-mail). Deşi standardul nu specifică necesitatea garantării întârzierii de transfer sau a ratei de pierderi, este de dorit ca aceste valori să fie minime. Esenţa acestei clase stă în faptul că, depinzând de starea de încărcare a reţelei, sursa este silită să controleze rata de bit. Utilizatorul poate defini MCR (rata minimă de transfer), ce trebuie garantată de circuitul virtual.
- Rata de bit nespecificată **UBR** (*Unspecified Bit Rate*), clasă potrivită aplicaţiilor care nu sunt sensibile la rata de pierderi sau întârzieri, cum ar fi transferul de fişiere în background sau e-mail. Acestea nu îşi modifică rata de transfer în condiţii de congestie, dar prevăd mecanisme bune de revenire din eroare.

Tabelul următor face o prezentare sintetică a parametrilor QoS pentru cele patru clase de trafic.

Atribut	CBR	VBR-RT	VBR-NRT	ABR	UBR
CLR cu CLP=0	Specif.	Specif.	Specif.	Specif.	Nespecif
CLR cu CLP=1	Opţional	Opţional	Opţional	Specif.	Nespecif
CTD	Specif.	Specif.	Specif.	Nespecif.	Nespecif
CDV	Specif.	Specif.	Nespecif	Nespecif.	Nespecif
SCR, BT	Nu e caz	Specif.	Specif.	Nu e caz	Nu e caz
PCR, CDTV	Specif.	Specif.	Specif.	Specif.	Specif.
MCR	Nu e caz	Nu e caz	Nu e caz	Specif.	Nu e caz

Tabelul 9.4 Parametri QoS pentru clasele de trafic

Contractul dintre client şi reţea are trei părţi:

- traficul care va fi oferit de purtător (descriptorul de trafic);
- serviciul care va fi folosit, având parametri doriţi de client şi acceptaţi de purtător;
- clauzele contractuale.

9.1.4. Tehnici de control a congestiei

Controlul congestiei este inima mecanismului de gestionare a traficului pentru o reţea ATM. Fenomenul de congestie apare în general când traficul de intrare într-o legătură din reţea este superior capacităţii de transport a legăturii (traficul de ieşire). Este dovedit că prin controlul congestiei se asigură o încărcare echilibrată a reţelei şi întârzieri normale. Pentru un trafic cu QoS nespecificat, precum ABR, la un trafic în rafale şi neprevizibil, controlul congestiei este mai dificil de realizat.

Două mecanisme de control sunt mai utilizate pentru problemele de congestie:

- algoritmul generic al uniformizării ratei de celule, numit algoritmul "gălеţii găurite"

  Încearcă să transforme rata de sosire în limitele prenegociate, prin eliminarea în cazul congestiei, a surplusului de celule, mai întâi a celor cu CLP marcat. Dacă există o schemă cu feed-back (buclă închisă), sursele de trafic sunt informate dinamic pentru a-şi încetini/mări rata de transmisie.

- controlul congestiei prin buclă închisă (*feedback*)

  Este implementat prin folosirea câmpului de patru biţi pentru controlul generic al fluxului GFC, aflat în antetul celulei UNI. Este mai puţin folosit însă; în această categorie se pot încadra o

multitudine de algoritmi propuşi recent şi luaţi în considerare de ATM Forum pentru a decide care să fie standardizat.

9.1.5. Comutatoare ATM

Comutatorul ATM trebuie proiectat pentru îndeplinirea obiectivelor principale ale tehnologiei ATM, şi anume:

- comutarea celulelor cu o rată de rejectare cât mai mică posibilă;
- păstrarea ordinii celulelor de pe orice circuit virtual.

Arhitectura comutatoarelor ATM poate fi reprezentată sub aspectul stivei de protocoale ca în figura următoare:

ATM	
Nivel fizic#1	Nivel fizic#2

Figura 9.5 Structura arhitecturală a unui switch ATM

Un comutator ATM, sau un nod de comutaţie ATM, are de îndeplinit două funcţii de bază:

- translatarea perechilor de identificatori de canal şi cale (VCI/VPI);
- transportul celulelor ATM de la o intrare către o anumită ieşire.

O structură de comutare (*switch fabric*) este necesară pentru a stabili o conexiune între o pereche arbitrară de intrare şi ieşire în cadrul unui nod de comutare, în principiu ea putând fi implementată de un singur element de comutare; dar ea poate fi şi mai complexă, conţinând câteva elemente de comutare. Pentru asigurarea unei rate de comutare de ordinul Giga bit/s în condiţii de întârziere per nod şi pierderi de celule per nod de o foarte mică valoare, sunt necesare structuri de control paralele.

Unitatea de bază într-o structură de comutare este **elementul de comutare**. Arhitectura generală a unui element de comutare este formată dintr-o reţea de interconectare (IN), un controller de intrare (IC) şi un controller de ieşire (OC); de asemenea, pentru a nu se pierde celule prin coliziuni interne, se prevăd buffere interne. Există mai multe tipuri de elemente de comutare, printre care cele de tip: matrice, cu memorie centrală, de tip magistrală sau de tip inel.

9.1.5.1. Elemente de comutare de tip matrice

Structura de comutare poate fi realizată într-un mod ce elimină blocarea, printr-o matrice de puncte de conexiune (*crosspoints*), permiţându-se întotdeauna conectarea oricărei perechi intrare/ieşire. Realizarea conexiunii la fiecare punct de conexiune depinde de informaţia de dirijare purtată de celulă şi de algoritmul prevăzut pentru prevenirea coliziunii. Pentru acest din urmă obiectiv, se prevăd zone tampon (buffere), care pot fi localizate fie la intrare, la ieşire sau la punctul de conexiune.

Bufferarea intrărilor

Doreşte prevenirea coliziunilor prin accesul simultan de la două intrări către aceeaşi ieşire. Pentru aceasta se poate prevedea la fiecare controller de intrare câte un buffer de o dimensiune proiectată în funcţie de viteza de comutare a elementului şi de viteza de lucru cu buffer-ul. Disciplina de servire cea mai simplă ar fi FIFO (servirea pe baza ordinii de sosire în buffer), dar există dezavantajul că blocarea (pentru prevenirea coliziunii) a unei celule (a primei celule) dintr-o coadă, care nu poate fi trecută către o ieşire deja folosită, nu permite servirea celulelor următoare, care ar dori accesul către o altă ieşire ce este disponibilă. Dezavantajul acesta, materializat în întârzieri de comutare la nivelul elementului, poate fi eliminat prin folosirea de buffere de tip memorie cu acces aleator, lucru ce ar duce la creşterea preţului.

Bufferarea ieşirilor

Doreşte să prevină apariţia coliziunilor atunci când se doreşte accesul simultan la aceeaşi ieşire de la mai multe intrări, în cazul în care viteza de comutare (a punctelor de comutare) este egală cu cea a operaţiilor în buffere. Creşterea, tehnologic posibilă, dar scumpă, a vitezei de comutare este remediul, altfel simpla bufferare a ieşirilor nu este suficientă.

Bufferarea la nivelul punctelor de conexiune

Numit şi element de comutaţie de tip fluture - elimină dezavantajul prezentat mai sus, dar adaugă mult cost elementului.

Tehnicile de arbitrare folosite pentru alegerea celulei 'învingătoare' dintre cele ce dispută o anumită ieşire, pot fi:

- de tip aleator, alegând la întâmplare celula dintre cele în dispută; are avantajul că necesită un mic efort de programare;
- alegerea ciclică, sau a şanselor egale;
- alegerea dependentă de starea cozii, pentru a se preveni umplerea doar a anumitor buffere de intrare;

- alegerea dependentă de întârziere, are o strategie complexă, deci scumpă, dar asigură câştigul maxim în viteză.

9.1.5.2. Elementul de comutare cu memorie centrală

Principiul acestui element de comutare este folosirea în comun de către controller-ele de intrare şi de ieşire a unei zone de memorie cu citire/scriere. Avantajul constă în faptul că toate buffer-ele de intrare şi de ieşire se realizează în cadrul aceleiaşi zone de memorie, partajată de procesele de intrare şi de ieşire. Pentru asigurarea unei bune folosiri a memoriei, cu timpi de acces performanţi, este necesar un mecanism de control de tip distribuit foarte performant.

9.1.5.3. Elementul de comutare de tip magistrală

Reţeaua de interconectare a acestui tip de element de comutare constă într-o magistrală de mare viteză multiplexată în timp de către controller-ele de intrare, care îşi depun celulele pe bus către controller-ele de ieşire. Pentru eliminarea conflictelor de acces la magistrală, o primă condiţie este ca viteza (capacitatea) magistralei să fie superioară sumei capacităţilor controller-elor de intrare. Este cazul ca magistrale cu 16 sau 32 de linii să fie folosite. Dacă la intrare nu mai este cazul buffer-elor, în condiţiile unei magistrale rapide, la ieşire ele sunt necesare, în cazul dacă sosesc două sau mai multe celule către aceeaşi ieşire pe durata procesului de servire la ieşire a unei celule.

9.1.5.4. Element de comutare de tip inel

Reţeaua de interconectare este realizată în acest caz printr-un inel de viteză ridicată, de obicei inel cu divizare (*slotted ring*). Problemele ce apar aici se referă la alocarea jetoanelor (*tokens*), fie o alocare statică în cazul când capacitatea inelului este superioară sumei necesităţilor de intrare, fie o alocare dinamică, statistică, în cazul contrar, lucru ce măreşte complexitatea sistemului.

9.1.5.5. Reţele de comutare

Reţelele de comutare folosite de tehnologia ATM sunt următoarele:

- reţele cu un singur etaj, printre care se enumeră: reţelele extinse, reţele de tip pâlnie (*Funnel-type*) şi de tip orizontal (*Shuffle-type*);

- reţelele multi-etaj, printre care reţele Banyans, cu o singură cale şi reţele cu căi multiple.

9.2. Emularea reţelelor locale

Înainte ca tehnologia ATM să-şi îndeplinească promisiunea de a constitui suportul comunicaţiilor viitorului, bazate pe servicii multimedia de bandă largă, uriaşa moştenire a reţelelor locale trebuie să fie pregătită pentru a realiza migrarea spre ATM, sau cu alte cuvinte ATM trebuie să prevadă o interconectare adecvată cu reţelele existente.

Emularea reţelelor locale **LANE** (*LAN Emulation*) defineşte trei mari domenii cerute pentru emularea reţelelor locale (care se supun standardelor 802.x, fiind reţele fără conexiune, permiţând difuzarea şi emisia multiplă, cu o adresare MAC specifică), pe o reţea ATM (orientată pe conexiune, cu legături punct la punct, cu o altă adresare).

LANE specifică pentru aceasta:

- procedurile de rezolvare a adresării şi protocoalele necesare pentru a descoperi adresa ATM corespunzătoare unei adrese MAC, precum şi cum să se stabilească un circuit virtual între punctele de capăt;
- protocoalele şi procedurile ce permit difuzarea şi emisia multiplă (broadcast şi multicast) de pachete 802.x, folosind un server LANE cu circuite punct la punct pentru căile de sosire şi circuite punct-multipunct către clienţi;
- formatul şi tehnicile de încapsulare pentru pachete.

Au fost propuse multe variante pentru mutarea aplicaţiilor LAN existente pe reţele ATM. O abordare posibilă ar fi considerarea ATM ca un nou nivel **Legătură de date**, conform stivei de protocoale ISO OSI, şi să se modifice protocoalele de la acest nivel înspre protocoale ATM. Un exemplu pentru această abordare ar fi efortul curent al IETF şi ATM Forum pentru specificarea mecanismelor de rulare a protocolului Internet Protocol pe reţele ATM.

Altă abordare priveşte înzestrarea unui protocol ATM cu posibilitatea de emulare a serviciilor oferite de LAN-urile existente, permiţând protocoalelor de nivel **Reţea** să opereze într-un mediu ATM ca şi cum s-ar afla deasupra unui LAN tradiţional. Specificarea emulării reţelelor locale defineşte modul cum o reţea ATM poate emula un set suficient de servicii de acces la mediu (servicii MAC precum Ethernet, Token ring). Spre deosebire de prima abordare care cerea utilizatorilor să schimbe sistemul de operare al reţelei, această din urmă soluţie se dovedeşte cea validă.

Aplicaţii
IP IPX
NDIS ODI
Emulare LAN
AAL5
ATM
Nivelul Fizic

Figura 9.6 Arhitectura de protocoale pentru un host ATM

Aplicaţii
IP IPX
NDIS ODI
Control Acces la Mediu
Nivel Fizic

Figura 9.7 Arhitectura de protocoale pentru un host LAN

Serviciul de emulare al reţelelor locale ar fi implementat ca program de control dispozitiv (*device driver*) la nivelul **Reţea** al bridge-urilor ATM-LAN şi în sistemele terminale **ATM** (*ATM end systems*). Pentru acestea, driver-ele de emulare LAN ar interfaţa cu programe driver larg acceptate, precum **NDIS** (*Network Driver Interface Specification*) sau **ODI** (*Open Datalink Interface*), folosite de binecunoscutele TCP/IP sau IPX.

Bridging	
Emulare LAN	Control Acces la Mediu
AAL5	
ATM	
Nivel Fizic	Nivel Fizic

Figura 9.8 Arhitectura de protocoale pentru un ATM-LAN bridge

O importantă trăsătură a emulării LAN este legată de serviciul de gestionare a lărgimii de bandă. Majoritatea reţelelor locale prevăd serviciul de tip "*best-effort*" pentru controlul fluxului comunicaţiei, lucru realizat în LANE de o manieră similară prin serviciul ABR (rată de biţi disponibilă), un serviciu potrivit transmisiilor în rafale, când necesarul de bandă nu poate fi previzionat.

9.2.1. Emularea LAN pentru serviciul fără conexiune

Una dintre diferenţele majore între serviciile **LAN** şi cele **ATM** este că primele sunt prin excelenţă libere de conexiune (servicii bazate pe datagrame), iar celelalte sunt bazate pe conexiune. Astfel că o sarcină importantă a nivelului de emulare LAN este să prevadă un serviciu neorientat pe conexiune acţionând deasupra nivelului ATM.

Serviciile LAN actuale sunt bazate tipic pe un mediu partajat. Mecanismul de transmisie la reţelele locale este simplu: când o staţie doreşte să transmită, formează un cadru în care pune şi adresa destinaţie, apoi difuzează cadrul în reţea. Staţia receptoare identifică cadrele ce îi sunt adresate prin simpla comparare a adresei din cadru cu a sa proprie. În acest cadru se înscrie şi rolul elementelor de interconectare a reţelelor locale, a echipamentelor de tip bridge sau ruter, care au ca principală sarcină avansarea cadrelor către segmentele unde se găsesc staţiile destinaţie.

Pentru un serviciu orientat pe conexiune, cum este modelul celui din reţelele ATM, pentru transferul de date între două staţii host, trebuie mai întâi stabilită o conexiune de la sursă la destinaţie, abia apoi are loc transferul de date, în condiţii de siguranţă mult superioare celuilalt tip de serviciu. Aceasta implică un schimb de informaţii de control între staţii, o negociere a parametrilor de transfer, deci aici acţionează un protocol de semnalizare.

9.2.2. Arhitectura serviciului de emulare a reţelelor locale

Emularea LAN constă din trei componente majore:

- clientul LAN Emulation (**LEC**), în general localizat în sistemul terminal ATM şi care constituie un proxy pentru sistemele LAN;
- serverul LAN Emulation (**LES**), are ca principală funcţie asigurarea protocolului de rezolvare a adresării (*LANE address resolution protocol*), necesar unui client LEC să determine adresa ATM a clientului ţintă responsabil pentru o anumită adresă destinaţie de tip MAC;
- server de difuzare/necunoscut (*broadcast/unknown server*), având ca sarcină înaintarea traficului de multicast (difuzare) către toţi clienţii LECs.

Algoritmul pentru un proces tip client-server pentru transferul de mesaje către o staţie cu adresă MAC destinaţie este:

1. Un client LEC menţine memorată o tabelă de rezolvare a adresării

ART (*Address Resolution Table*), care mapează de fapt o adresă MAC destinaţie cu o adresă directă VC de circuit virtual. La recepţia unui mesaj de la un nivel superior, clientul LEC va încerca să trimită mesajul direct la destinaţie, folosind un circuit virtual.

2. Dacă adresa MAC destinaţie nu se află în tabela ART, clientul sursă LEC trimite o cerere de rezolvare a adresei, LE-ARP request, către server-ul LES pentru a afla adresa ATM a destinaţiei.
3. După ce primeşte răspunsul de la LES şi deci cunoaşte adresa ATM a destinaţiei, clientul LEC sursă actualizează tabela de rezolvare a adresării ART, iar apoi stabileşte un circuit virtual VC către acea adresă pentru a transmite mesajul. Alternativ, acel LEC poate cere server-ului ca adresa "rezolvată " să fie anunţată tuturor clienţilor ataşaţi.

9.2.3. Evoluţia LAN către ATM

Dacă reţelele locale ale începutului de deceniu operau într-un domeniu de viteze de până la 10 - 16Mbps, fiind conectate între ele prin bridge sau ruter, odată cu apariţia HSLAN şi trecerea către tehnologii noi, printre care şi ATM, a făcut ca modelul să evolueze către cel ilustrat în figura 9.9.

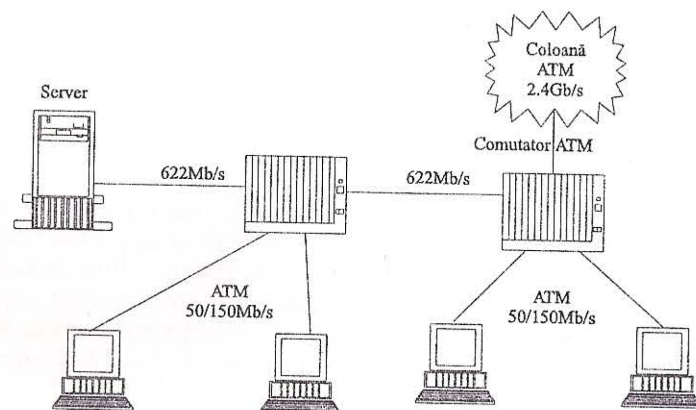


Figura 9.9 Modelul unui LAN ATM

Acesta ar fi modelul terminal (acceptat astăzi) al introducerii tehnologiei ATM; el foloseşte staţii ATM cu o viteză de 50/150Mbps, conectate cu ajutorul comutatoarelor ATM, prin legături de 622Mbps, către reţele backbone operând la 2,4Gbps.

BIBLIOGRAFIE

1. **E. Cebuc, V.T. Dădârlat** şi alţii
   Reţele locale de Calculatoare Îndrumător de Laborator,
   UT Press 2005
2. **D. Comer**
   Computer Networks and Internet,
   Prentice Hall, 2004
3. **V.T. Dădârlat**
   Reţele de Calculatoare de la cablare la interconectare,
   Editura Albastră, 1999
4. **B. Forouzan**
   Data Communications and Networking,
   McGraw Hill, 2002, 2004
5. **F. Halsall**
   Data Communications, Computer Networks and Open Systems,
   4th Edition, Addison Wesley, 2004
6. **J. Kadambi** şi alţii
   Gigabit Ethernet Migrating to High-Bandwith LANs,
   Prentice Hall, 1998
7. **J. Kurose, K. Ross**
   Computer Networking,
   Addison Wesley, 2002
8. **J. Schiller**
   Mobile Communications,
   Addison Wesley, 2004
9. **R. Seifert**
   Gigabit Ethernet,
   Addison Wesley, 1999
10. **W. Stallings**
    Data and Computer Communications,
    Prentice Hall, 2003
11. **W. Stallings**
    High-Speed Networks and Internets Performance and Quality of Service second edition,
    Prentice Hall, 2002
12. **Tanenbaum**
    Computer Networks,
    Prentice Hall, 2004



Problematica tratată în această carte se încadrează conceptual în zona primelor trei nivele arhitecturale ale modelului de referință pentru sistemele deschise; explicit, cartea se referă la rețelele locale de calculatoare, abordând aspecte legate de toate problemele teoretice și practice ale domeniului.

Într-un mod structurat și profund didactic, se prezintă cunoștiințele de bază, dar și cercetările foarte actuale legate de toate tipurile de rețele locale, de la cablarea structurată, pînă la interconectarea lor și accesul la rețele publice.

EDITURA ALBASTRĂ

400500 str. Observatorului 1
Cluj-Napoca, România
tel. 0264.438328*, fax 0264.598263
C.P. 449 Oficiul Poștal 1, Cluj-Napoca
e-mail:albastra@gmi.ro

editura Albastră

LIBRĂRIA VIRTUALĂ

www.albastra.ro
www.gmi.ro

I.S.B.N. 973-650-161-2



